



TUGAS AKHIR – TE 141599

**ANALISIS HUBUNG SINGKAT DAN *SETTING* PROTEKSI PADA
BACKBONE SISTEM TRANSMISI AC 275 KV KALIMANTAN**

Ratnandy Hilal Pahlevi
NRP 07111440000090

Dosen Pembimbing
Dimas Anton Asfani ST.,MT.,Ph.D
Ir. Sjamsul Anam MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR – TE 141599

**ANALISIS HUBUNG SINGKAT DAN *SETTING* PROTEKSI PADA
BACKBONE SISTEM TRANSMISI AC 275 KV KALIMANTAN**

Ratnandy Hilal Pahlevi
NRP 07111440000090

Dosen Pembimbing
Dimas Anton Asfani ST.,MT.,Ph.D
Ir. Sjamsjul Anam MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT – TE 141599

**SHORT-CIRCUIT ANALYSIS AND PROTECTION *SETTING* ON
275KV KALIMANTAN *BACKBONE* AC TRANSMISSION
SYSTEM**

Ratnandy Hilal Pahlevi
NRP 07111440000090

Supervisors
Dimas Anton Asfani ST.,MT.,Ph.D
Ir. Sjamsul Anam MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas akhir saya dengan judul “**ANALISIS HUBUNG SINGKAT DAN *SETTING* PROTEKSI PADA *BACKBONE* SISTEM TRANSMISI AC 275KV KALIMANTAN**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2018

Ratnandy Hilal Pahlevi
0711144000090

Halaman ini sengaja dikosongkan

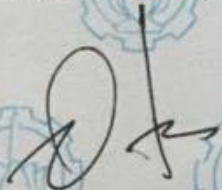
ANALISIS HUBUNG SINGKAT DAN *SETTING* PROTEKSI PADA *BACKBONE* SISTEM TRANSMISI AC 275 KV KALIMANTAN

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Dimas Anton A., ST., MT., Ph.D.
NIP. 198109052005011002

Dosen Pembimbing II



Ir. Sjamsjul Anam, MT.
NIP. 196307251990031002



Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALISIS HUBUNG SINGKAT DAN *SETTING* PROTEKSI PADA *BACKBONE* SISTEM TRANSMISI AC 275KV KALIMANTAN

Nama mahasiswa : Ratnandy Hilal Pahlevi
Dosen Pembimbing I : Dimas Anton A, ST., MT., Ph. D
Dosen Pembimbing II : Ir. Sjamsjul Anam, MT

Abstrak:

Pada sistem transmisi, sistem proteksi diharuskan memiliki selektifitas yang tinggi dalam mengamankan gangguannya. Hal ini dikarenakan jika terjadi kesalahan trip, akan menimbulkan dampak kerugian yang besar baik pada sisi beban maupun sumber. Sistem *backbone* 275 kV Kalimantan menginterkoneksi 3 area yaitu Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan dan Tengah serta Kalimantan Timur dan Utara dengan operasi transmisi 275 kV. Pada sistem ini, digunakan dua rele utama sebagai proteksinya yaitu rele jarak sebagai proteksi di bagian penghantar dan rele diferensial sebagai proteksi di bagian gardu induk penghubung 275 kV. Pada Tugas Akhir ini akan dilakukan analisis hubung singkat untuk perhitungan *setting* proteksi rele jarak dan rele diferensial dengan data-data sistem *backbone* 275 kV Kalimantan. Pembahasan yang dilakukan meliputi perhitungan pengklasifikasian panjang saluran penghantar, pemilihan pola proteksi penghantar, serta perhitungan *setting* rele jarak dan rele diferensial. Hasil analisis dan perhitungan akan digunakan sebagai referensi dan rekomendasi untuk menentukan *setting* proteksi pada sistem transmisi yang tepat. Berdasarkan perhitungan dan analisis yang telah dilakukan, perhitungan *setting* proteksi pada rele jarak dan penentuan pickup Idiff dan slope pada rele diferensial sudah tepat karena selektif dalam mengamankan gangguan pada zona proteksinya.

Kata kunci: (*backbone* 275 kV, rele jarak, rele diferensial)

Halaman ini sengaja dikosongkan

SHORT-CIRCUIT ANALYSIS AND PROTECTION *SETTING* ON 275KV KALIMANTAN *BACKBONE* AC TRANSMISSION SYSTEM

Student Name : Ratnandy Hilal Pahlevi
Supervisor I : Dimas Anton A, ST., MT., Ph. D
Supervisor II : Ir. Sjamsjul Anam, MT

Abstract:

In the transmission system, the protection system is required to have high selectivity in securing the electrical disturbance. This is because if a false tripping occurs, will cause a large loss of impact both on the load side and source. Kalimantan 275 kV backbone system interconnect 3 areas of West Kalimantan, South and Central Kalimantan, and East and North Kalimantan with 275 kV transmission operation. In this system, two major releases are used as protection, which is distance relay as protection at the line and differential relay as protection at the substation of 275 kV connecting substation. In this Final Project will be conducted short circuit analysis for calculation of distance relay protection and differential relay with 275 kV backbone Kalimantan data. Discussion includes calculation of channel length classification, selection of line protection scheme, and calculation of distance relay and differential relay setting. The results of the analysis and calculation will be used as reference and recommendation to determine the protection setting on transmission. Based on calculations and analyzes that have been done, the calculation of protection settings on the distance relay and determination of Idiff and slope pickup is correct because it is selective in securing the disturbance in its zone.

Key Word: (*backbone 275 kV, distance relay, differential relay*)

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“ANALISIS HUBUNG SINGKAT DAN *SETTING* PROTEKSI PADA *BACKBONE* SISTEM TRANSMISI AC 275 KV KALIMANTAN”**.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia dan petunjuk-Nya.
2. Ibu dan Ayah penulis atas doa dan cinta yang tak henti pada penulis dalam keadaan apapun. Semoga Allah SWT senantiasa melindungi dan memberi mereka tempat terbaik kelak di surgaNya.
3. Bapak Dimas Anton dan Bapak Sjamsjul Anam selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dan perhatiannya selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
4. Geng Malang Elits (Narjong, Wanto, Dadan, Ipan, Fandip, Ega, Rahman) yang telah menemani dan memberikan dukungan selama masa kuliah sampai penyusunan tugas akhir ini.
5. Keluarga CTS 24 (Robin, Sbm, Ijah, Ex Ipal, Danang) yang telah memberikan support dan dukungan kepada penulis selama menjalankan perkuliahan.
6. Afifah Ayu selaku asisten pribadi penullis dalam pengerjaan tugas akhir dan Sifa Arsyanda yang memotivasi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Tegar Imam Ababil, Rahmat Febrianto dan Rizkaurum Fadliyah yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan berbagai permasalahan pada tugas akhir ini.
8. Seluruh teman-teman laboratorium LIPIST yang telah menemani penulis dalam kehidupan flat-lyfe di tiap malam semester 8 ini.
9. Amalul, Hery, Manual, Angga, dan teman-teman Tugas Akhir Kalimantan yang telah menemani penulis pada pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis telah berusaha maksimal dalam penyusunan tugas akhir ini. Namun tetap besar harapan penulis untuk menerima saran dan kritik untuk perbaikan dan pengembangan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat yang luas.

Surabaya, Juni 2018

Penulis

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	1
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
1.7 Relevansi.....	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Gangguan hubung singkat.....	5
2.2 SIR (Source Impedance Ratio).....	6
2.3 Skema Teleproteksi	9
2.4 Rele Jarak.....	10
2.4.1 <i>Directional Earth Fault</i>	13
2.4.2 GE Multilin D60	13
2.5 Rele Diferensial.....	13
2.5.1 <i>Low impedance</i> bus differential Rele	14
2.5.2 Siemens 7SS60	17
BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN KALIMANTAN DAN PERENCANAANYA	19
3.1 Sistem Kelistrikan Eksisting Kalimantan	19
3.1.1 Data Kelistrikan Kalimantan Barat	19

3.1.2	Data Kelistrikan Kalimantan Selatan dan Tengah	21
3.1.3	Data Kelistrikan Kalimantan Timur dan Utara	22
3.2	Sistem <i>Backbone</i> 275 kV Kalimantan	24
3.2.1	Data Sistem Kelistrikan <i>Backbone</i> 275 kV Kalimantan	26
3.2.1.1	Data Perencanaan Kelistrikan Kalimantan Barat	27
3.2.2	Data Perencanaan Kelistrikan Kalimantan Selatan dan Tengah	29
3.2.3	Data Perencanaan Kelistrikan Kalimantan Timur dan Utara	32
3.3	Analisis Kondisi Eksisting dan Perencanaan	35
3.3.1	Analisis Kondisi Perencanaan Area Kalimantan Barat	35
3.3.2	Analisis Kondisi Perencanaan Area Kalimantan Selatan dan Tengah	36
3.3.4	Analisis Kondisi Perencanaan Area Kalimantan Timur dan Utara	37
BAB 4 HASIL ANALISIS DAN <i>SETTING</i> PROTEKSI SISTEM <i>BACKBONE</i> 275KV KALIMANTAN		39
4.1	Pemodelan Sistem Kelistrikan <i>Backbone</i> 275 kV Kalimantan	39
4.2	Analisis Hubung Singkat <i>backbone</i> 275kV Kalimantan..	39
4.3	<i>Setting</i> Proteksi Penghantar <i>Backbone</i> 275 kV Kalimantan	40
4.3.1	Menentukan Pola Proteksi Penghantar	40
4.3.2	Perhitungan <i>Setting</i> Proteksi Penghantar	42

4.4	<i>Setting Proteksi Bus Diferensial Backbone</i>	
	275 kV Kalimantan	48
4.5	Analisis Gangguan <i>Backbone</i> 275 KV Kalimantan	63
4.5.1	Analisis Gangguan Saluran <i>Backbone</i>	
	275 KV Kalimantan	63
4.5.2	Analisis Gangguan pada GI penghubung	
	<i>Backbone</i> 275 KV Kalimantan	73
BAB 5 PENUTUP.....		81
5.1	Kesimpulan	81
5.2	Saran	81
DAFTAR PUSTAKA		83
LAMPIRAN.....		85
BIOGRAFI PENULIS.....		93

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Pemodelan Rangkaian Pengganti SIR	7
Gambar 2. 2	Perbandingan skema PUTT dengan Step Distance	9
Gambar 2. 3	Kurva Karakteristik Mho	12
Gambar 2. 4	Skema rele diferensial <i>low impedance</i>	15
Gambar 2. 5	Kurva Karakteristik Rele Diferensial	17
Gambar 2. 6	Kurva Karakteristik 7SS60	17
Gambar 3. 1	Sistem <i>Backbone</i> 275 kV Kalimantan	25
Gambar 3. 2	Proyeksi beban dan Pembangkitan Kalbar tahun 2017 2028	36
Gambar 3. 3	Proyeksi beban dan Pembangkitan Kalselteng tahun 2017 - 2028	37
Gambar 3. 4	Proyeksi beban dan Pembangkitan Kaltimra tahun 2028	38
Gambar 4. 1	Pemodelan Saluran Pontianak 275 kV – Ketapang 275 kV	43
Gambar 4. 2	Kurva Mho Pontianak - Ketapang	45
Gambar 4. 3	Kurva Mho Ketapang - Sampit	47
Gambar 4. 4	Pemodelan 87B saat kondisi normal	49
Gambar 4. 5	Pemodelan 87B saat hubung singkat L-L di KEDAWANGAN 150 KV	51
Gambar 4. 6	Pemodelan 87B saat hubung singkat L-L di SUKADANA 150 KV	52
Gambar 4. 7	Pemodelan 87B saat hubung singkat L-L di KETAPANG 275 KV	53
Gambar 4. 8	Pemodelan 87B saat kondisi normal	55
Gambar 4. 9	Pemodelan 87B saat hubung singkat L-L di PULPIS 150KV	57
Gambar 4. 10	Pemodelan 87B saat hubung singkat L-L di PLTUPP 150 KV	58
Gambar 4. 11	Pemodelan 87B saat hubung singkat L-L di N.PALANGKA 150 KV	59
Gambar 4. 12	Pemodelan 87B hubung singkat L-L di PALANGKARAYA 275 KV	60
Gambar 4. 13	Pemodelan 87B hubung singkat L-L di	60
Gambar 4. 14	Pemodelan hubung singkat 1 fasa ke tanah pada	72
Gambar 4. 15	Pemodelan 87B pada saat gangguan internal 3 fasa	75
Gambar 4. 16	Pemodelan 87B pada saat gangguan internal 2 fasa	77

Gambar 4. 17	Pemodelan 87B pada saat gangguan internal 3 fasa	79
Gambar 4. 18	Kurva Karakteristik <i>Setting</i> Diferensial paada bus Palangkaraya 150kV	80

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel Rumus Gangguan Hubung Singkat	6
Tabel 2. 2 Pola Proteksi Penghantar 500 KV dan 275 KV (TET) SPLN T5.002-2:2010	8
Tabel 3. 1 Rincian Pembebanan Kalbar tahun 2017.....	20
Tabel 3. 2 Rincian Pembangkitan Kalbar Tahun 2017	20
Tabel 3. 3 Rincian Pembebanan Kalselteng pada tahun 2017	21
Tabel 3. 4 Rincian Pembangkitan Kalselteng tahun 2017	22
Tabel 3. 5 Rincian Pembebanan Kaltimra tahun 2017	22
Tabel 3. 6 Rincian Pembangkitan Kaltara tahun 2017	23
Tabel 3. 7 Data Penghantar <i>Backbone</i> 275 kV Kalimantan	26
Tabel 3. 8 Data Trafo <i>Backbone</i> 275 kV Kalimantan.....	27
Tabel 3. 9 Rincian Pembebanan Kalbar Tahun 2028	27
Tabel 3. 10 Rincian Total Pembangkitan Kalbar Tahun 2028	29
Tabel 3. 11 Rincian Pembebanan Kalselteng tahun 2028	30
Tabel 3. 12 Rincian Total Pembangkitan Kalselteng tahun 2028.....	31
Tabel 3. 13 Rincian Pembebanan Kaltara tahun 2028.....	32
Tabel 3. 14 Rincian Total Pembangkitan Kaltara 2028.....	34
Tabel 4. 1 Nilai hubung singkat 3 fasa pada 100% panjang saluran	40
Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Nilai SIR	42
Tabel 4. 3 <i>Setting</i> Proteksi Penghantar <i>Backbone</i> 275 kV Kalimantan	48
Tabel 4. 4 <i>Setting</i> Rele Diferensial Gardu Induk Penghubung <i>Backbone</i> 275 kV	62

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi seluruh masyarakat perkotaan maupun pedesaan. Listrik sebagian besar digunakan untuk keperluan sehari-hari maupun untuk produksi dari suatu industri atau pabrik. Berdasarkan data dari RUPTL 2017-2026, penjualan listrik di Kalimantan di proyeksikan akan naik dari 9.9 TWh menjadi 23.4 TWh [1]. Disamping itu, potensi energi primer di Kalimantan belum sepenuhnya dapat dimanfaatkan dengan optimal karena sistem kelistrikan yang masih terpisah dan tidak terintegrasi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka direncanakan pembangunan infrastruktur berupa *backbone* transmisi 275 KV. *Backbone* transmisi ini diharapkan dapat menghubungkan seluruh Kalimantan sehingga memudahkan penyaluran daya antar daerah.

Dalam sebuah sistem transmisi, proses penyaluran daya sering kali mengalami beberapa kendala akibat berbagai gangguan. Beberapa gangguan yang biasanya terjadi ialah gangguan hubung singkat tiga fasa, antar fasa, ataupun satu fasa ke tanah. Penyebabnya bermacam-macam seperti sambaran petir, saluran terputus, kegagalan isolasi, kabel terhubung dengan ranting pohon, dan sebagainya. Untuk meminimalisir dampak kerusakan dari gangguan, perlu direncanakan suatu sistem proteksi yang tepat dan selektif dalam mengisolir gangguan. Berkaitan dengan permasalahan tersebut maka dilakukan studi mengenai analisis hubung singkat beserta *setting* proteksinya untuk keperluan perencanaan sistem transmisi AC 275KV Kalimantan.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Pemodelan sistem *backbone* 275 kV Kalimantan
2. Menganalisis besar nilai arus hubung singkat pada *backbone* 275 kV Kalimantan
3. Menentukan *setting* proteksi pada penghantar *backbone* 275 kV Kalimantan

4. Menentukan *setting* proteksi pada gardu induk penghubung *backbone* 275 kV Kalimantan

1.3 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah :

1. Memodelkan, mensimulasikan, dan menganalisis sistem kelistrikan *backbone* 275 kV Kalimantan.
2. Mendapatkan rekomendasi *setting* proteksi pada penghantar *backbone* 275 kV Kalimantan
3. Mendapatkan rekomendasi *setting* proteksi pada gardu induk penghubung *backbone* 275 kV Kalimantan

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada Tugas Akhir ini adalah :

1. Pemodelan sistem *backbone* 275 kV Kalimantan dilakukan pada tahun 2028
2. Analisis Hubung singkat yang dilakukan mengacu pada sistem *backbone* 275 kV beserta gardu induk penghubungnya.
3. Perhitungan *setting* proteksi dilakukan pada penghantar *backbone* 275 kV dan gardu induk penghubung *backbone* 275kV
4. Peralatan proteksi yang dibahas adalah rele jarak sebagai proteksi penghantar *backbone* 275 kV dan rele diferensial sebagai proteksi gardu induk penghubung *backbone* 275 kV.
5. Manufaktur rele proteksi yang digunakan adalah GE Multilin D60 sebagai proteksi penghantar dan SIEMENS 7SS60

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam menyusun penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi pustaka
Pada tahap ini penulis melakukan studi pada beberapa literatur seperti buku, paper, dan jurnal untuk menunjang penyelesaian tugas akhir ini. Literatur yang dimaksud pada studi ini yaitu mengenai sistem proteksi pada transmisi, *short-circuit*, rele jarak dan rele differensial.

2. Pengambilan data

Setelah dilakukan studi literatur tahap selanjutnya yaitu dilakukan pengumpulan data-data dan parameter yang dibutuhkan untuk permodelan sistem transmisi 275 kV Kalimantan. Permodelan sistem akan dibuat menggunakan *software* Digsilent Power Factory 15.1 dengan data-data dan parameter pada saat tahun 2028.

3. Simulasi dan Pengolahan Data

Setelah permodelan selesai selanjutnya dilakukan simulasi mengenai *load flow*, *short-circuit* untuk mendapatkan data-data mengenai nilai arus gangguanya dan kemudian diolah untuk keperluan *setting* proteksinya

4. Perhitungan *Setting* Rele

Data-data yang telah diperoleh dari hasil simulasi akan digunakan sebagai parameter untuk perhitungan *setting* proteksi pada penghantar dan gardu induk penghujung *backbone* 275 kV Kalimantan.

5. Analisis *Setting* Rele

Setelah dilakukan perhitungan *settingnya*, dilakukan analisis gangguan untuk menguji ketepatan *setting* yang telah ditentukan. Pengujian ini dilakukan dengan cara mensimulasikan gangguan pada penghantar dan gardu induk penghubung *backbone* 275 kV.

6. Penarikan Kesimpulan

Setelah diketahui bahwa *setting* proteksi yang ditentukan sudah tepat, maka *setting* yang telah ditentukan dapat direkomendasikan untuk *setting* proteksi *backbone* 275 kV Kalimantan.

1.6 Sistematika Penulisan

Pada tugas akhir ini sistem penulisan terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

Bab 1 : Pendahuluan

Bab ini membahas mengenai latar belakang, permasalahan, tujuan, batasan masalah metode penelitian, sistematika pembahasan, dan manfaat dari tugas akhir ini.

Bab 2 : Kajian Pustaka

Bab ini membahas mengenai dasar teori yang digunakan untuk menunjang penyusunan tugas akhir ini.

Bab 3 : Sistem Kelistrikan Kalimantan dan Perencanaanya

Bab ini membahas mengenai sistem kelistrikan eksisting dan perencanaan *backbone* 275 kV pada sistem transmisi Kalimantan.

Bab 4 : Hasil Analisis dan Setting Proteksi Backbone 275 kV

Bab ini membahas mengenai analisis hubung singkat pada *backbone* 275 kV, perhitungan *setting* proteksi penghantar dan gardu induk penghubung, serta analisis gangguan untuk menguji ketepatan *setting* yang telah ditentukan.

Bab 5 : Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil analisis yang telah dilakukan.

1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Untuk Perencanaan *Backbone* 275 kV Kalimantan
Melalui tugas akhir ini, diharapkan dapat menjadi rekomendasi dan referensi untuk perencanaan sistem proteksi *backbone* 275 kV Kalimantan
2. Untuk bidang ilmu pengetahuan
Dapat menjadi referensi yang membahas mengenai masalah sistem proteksi pada transmisi.

BAB 2

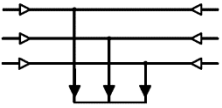
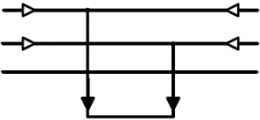
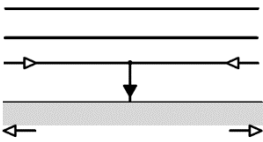
KAJIAN PUSTAKA

2.1 Gangguan hubung singkat

Secara umum, gangguan hubung singkat dapat dibedakan menjadi dua yaitu hubung singkat simetris dan hubung singkat asimetris. Hubung singkat simetris terjadi ketika arus gangguan yang mengalir pada seluruh fasanya bernilai sama yaitu pada saat hubung singkat tiga fasa [3]. Sedangkan hubung singkat asimetris terjadi ketika arus gangguan yang mengalir pada tiap fasanya memiliki nilai yang berbeda atau tidak seimbang yaitu pada saat hubung singkat satu fasa ke tanah dan hubung singkat antar fasa.

Pada saat terjadi gangguan hubung singkat, arus akan mengalir menuju titik gangguan dengan besaran nilai melebihi arus nominal. Hal ini dapat mengakibatkan rusaknya peralatan listrik, berkurangnya stabilitas daya, dan terhentinya kontinuitas daya akibat membukanya *circuit breaker*. Peristiwa hubungan singkat dikategorikan dalam beberapa periode yaitu *sub-transient* (0,5 cycle), *transient* (1,5-4 cycle), dan *steady state*(30cycle) [4]. Pembagian durasi hubung singkat ini dikarenakan adanya komponen reaktansi yang berbeda. Fungsi pembagian durasi tersebut digunakan sebagai data untuk menentukan kapasitas *circuit breaker* (CB) maupun *setting* rele. Perhitungan untuk menentukan besarnya arus hubung singkat secara praktis dapat ditentukan melalui Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2. 1 Tabel Rumus Gangguan Hubung Singkat

Gangguan Hubung Singkat	Gambar Ilustrasi Hubung Singkat	Persamaan
3 Fasa		$I_{sc\ 3\phi} = \frac{V_{LN}}{X_1}$
2 Fasa		$I_{sc\ 2\phi} = \frac{V_{LL}}{X_1 + X_2}$
1 fasa ke tanah		$I_{sc\ 1\phi} = \frac{3 V_{LN}}{X_1 + X_2 + X_0 + Z_G}$

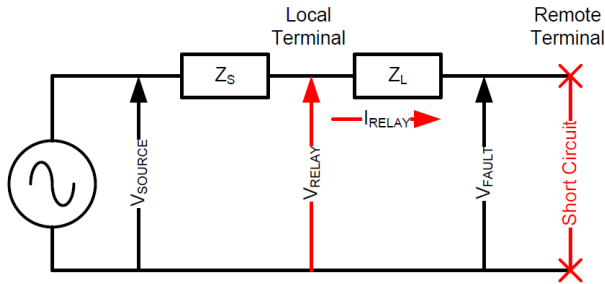
2.2 SIR (Source Impedance Ratio)

Dalam mendesain sebuah sistem proteksi pada suatu saluran transmisi, terlebih dahulu kita harus mengkategorikan panjang saluran agar pola proteksi dapat disesuaikan dengan standar. Panjang saluran dapat ditentukan melalui panjang kabel, impedansi, atau *source*

impedance ratio (SIR). Pada industri, SIR adalah metode yang direkomendasikan untuk mengklasifikasikan panjang dari sebuah saluran transmisi [2]. Menurut IEEE C37.113, IEEE Guide for Protective Relay Applications to Transmission Lines panjang saluran dapat dikategorikan sebagai berikut:

- Long line ($SIR < 0.5$)
- Medium line ($0.5 < SIR < 4$)
- Short line ($SIR > 4$)

SIR dapat didefinisikan sebagai rasio perbandingan dari impedansi sumber dengan impedansi penghantar yang dilalui arus sumber tersebut. Namun pada sistem transmisi akan sulit memperhitungkan impedansi sumber dikarenakan topologi jaringan yang kompleks dengan berbagai sumber dan *branch*. Metode yang direkomendasikan dalam menghitung impedansi sumber adalah dengan menggunakan analisis hubung singkat pada remote bus [6]. Remote bus adalah batas dimana penghantar dengan titik sebelum *overreach*. Keadaan tersebut dapat menggambarkan dimana rele akan bekerja pada kondisi sebenarnya. Impedansi sumber dihitung dari tegangan drop dari terminal lokal dibagi dengan arus gangguan pada rele. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.1 dibawah ini:



Gambar 2. 1 Pemodelan Rangkaian Pengganti SIR

Setelah dilakukan simulasi hubung singkat pada titik tersebut, kita dapat menghitung Z_{source} dan SIR melalui perhitungan berikut:

$$Z_{source} = \frac{V_{drop\ Source}}{I_{Relay}} = \frac{V_{base\ LN} - V_{Relay}}{I_{Relay}} \quad (2.1)$$

$$SIR = \frac{Z_{source}}{Z_{line}} \quad (2.2)$$

Setelah mendapatkan nilai SIR kita dapat mengklasifikasikan saluran tersebut masuk kategori saluran pendek, menengah, atau panjang. Dengan mengetahui hal tersebut kita dapat mendesain pola proteksi penghantar sesuai dengan standart yang umum digunakan yaitu **SPLN T5.002-2:2010** [13]. Rincian pola proteksi penghantar dapat dilihat pada Tabel 2.2 dibawah ini:

Tabel 2. 2 Pola Proteksi Penghantar 500 KV dan 275 KV (TET)SPLN T5.002-2:2010

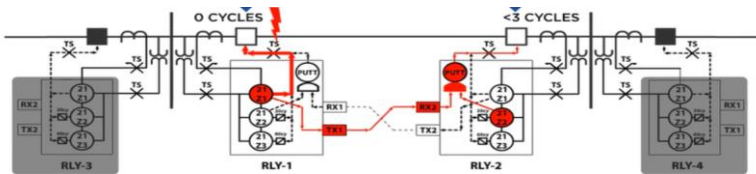
Saluran yang Diproteksi	Skema Proteksi A	Skema Proteksi B
Saluran Pendek	<p>Utama: Teleproteksi CD dengan FO</p> <p>Cadangan: Teleproteksi Z+DEF dengan PLC</p>	<p>Utama: Teleproteksi CD dengan FO</p> <p>Cadangan: Teleproteksi Z+DEF dengan PLC</p>
Saluran Sedang dan Panjang	<p>Alternatif I Utama: Teleproteksi Z+DEF dengan PLC</p> <p>Cadangan: Z</p> <p>Alternatif II Utama: Teleproteksi Z+DEF dengan FO</p> <p>Cadangan: Z</p>	<p>Alternatif I Utama : Teleproteksi CD dengan FO</p> <p>Cadangan: Teleproteksi Z+DEF</p> <p>Alternatif II Utama: Teleproteksi Z+DEF dengan PLC</p> <p>Cadangan: Z</p>

2.3 Skema Teleproteksi

Untuk menunjang kinerjanya, rele jarak dilengkapi dengan skema teleproteksi. Teleproteksi merupakan serangkaian peralatan yang berfungsi untuk mengirim dan menerima sinyal komunikasi antar gardu induk yang berdekatan untuk dapat memberikan sinyal trip seketika. Dua faktor utama yang menjadi pertimbangan digunakannya skema teleproteksi yaitu:

Gangguan yang tidak diamankan secara langsung seperti pada zona 2 rele jarak dapat menyebabkan sistem tidak stabil. Serta menghindari perbedaan waktu trip di kedua ujung saluran transmisi sehingga kinerja dari peralatan auto reclose tidak terganggu [15]. Pola teleproteksi yang dipilih adalah pola PUTT (*Permissive Underreach Transfer Trip*).

Dasar pemilihan dari pola teleproteksi ini yaitu pengisoliran gangguan dapat dieksekusi lebih akurat karena diawasi oleh kedua rele pada saluran tersebut yaitu zona 1 rele 1 dan zona 2 rele 2 (atau sebaliknya) sebelum memberikan sinyal perintah trip ke CB. Apabila terjadi kegagalan pengiriman sinyal, gangguan yang terjadi tetap dapat diamankan menggunakan skema rele jarak konvensional (*step distance*).



Ilustrasi Pengisoliran Gangguan Rele Jarak dengan Menggunakan skema PUTT



Ilustrasi Pengisoliran Gangguan Rele Jarak dengan Menggunakan skema Step-Distance

Gambar 2. 2 Perbandingan skema PUTT dengan Step Distance

Dapat dilihat pada Gambar 2.2 pada pola proteksi PUTT akan memiliki waktu trip lebih cepat yaitu kurang dari 3 *cycle* dibanding dengan pola *step distance* yang membutuhkan waktu 20 *cycle* untuk trip [12]. Hal ini dikarenakan breaker pada rele 2 menerima sinyal trip ketika zona 1 rele 1 dan zona 2 rele 2 mengkonfirmasi adanya gangguan.

2.4 Rele Jarak

Pada saluran transmisi, rele jarak berperan sebagai pengaman utama dalam mengisolir gangguan. Rele ini bekerja berdasarkan impedansi untuk mendeteksi gangguan yang terjadi berada di dalam atau di luar zona proteksinya [8]. Hal ini dikarenakan pada saluran transmisi, impedansi akan berbanding lurus dengan panjang salurannya sehingga dapat dilakukan pengukuran impedansi berdasarkan panjang saluran.

Prinsip dasar dari rele jarak adalah membandingkan impedansi yang terukur rele (*apparent impedance*) dengan batas jangkauan (*reach*) yang telah ditetapkan. *Apparent impedance* dihitung berdasarkan rasio perbandingan tegangan dan arus gangguan yang terukur pada lokasi rele terpasang. Rele jarak hanya akan mengirim sinyal trip apabila *apparent impedance* bernilai lebih kecil dibanding *reach setting*nya.

Pada umumnya rele jarak dilengkapi elemen *directional* yang berguna untuk menentukan arah dan lokasi gangguan sehingga rele dapat bekerja secara selektif. Untuk bisa beroperasi dengan baik, rele jarak memiliki beberapa parameter *setting* yang harus ditentukan antara lain:

a. *Reach*

Reach merupakan batas jangkauan dimana rele akan mendeteksi gangguan dalam zona proteksinya. *Setting reach* umumnya dibagi menjadi 3 zona yaitu zona 1, zona 2, dan zona 3. Menurut referensi (ANSI/IEEE Std C37.113-1999) nilai *reach setting* dari tiap zona dapat ditentukan sebagai berikut:

Zone 1: 80% - 90% dari impedansi saluran utama Time delay = 0

Zone 2: Minimum 120% impedansi saluran utama dan tidak boleh melebihi *setting* zona 1 *adjacent* line. Time delay = 15-30 *cycle*

Zone 3: Disetting tergantung pengaplikasian. Time delay = 60 *cycle*

Namun, dikatakan dalam (ANSI/IEEE Std C37.113-1999) nilai *setting reach* untuk zona 2 dan zona 3 dapat berubah-ubah tergantung pengaplikasiannya dengan syarat *setting* zona 2 harus minimal memenuhi 120% impedansi saluran utama. Hal ini dikarenakan *setting* zona 2 harus menjangkau 20% sisa saluran yang tidak diproteksi oleh zona 1.

Pada referensi lain yaitu pada literatur [8], *setting reach distance* rele dapat ditentukan melalui range zona berikut:

Zona 1: 80% impedansi saluran utama

Zona 2: min = 120% impedansi saluran utama

max = 100% impedansi saluran utama +
50% impedansi saluran *adjention*

(Saluran *adjention* dipilih yang terpendek)

Zona 3: min = 100% impedansi saluran utama + 120%
impedansi saluran *adjention*

max = 120% impedansi saluran utama + 120%
impedansi saluran *adjention*

(Saluran *adjention* dipilih yang terpanjang)

b. *Maximum Torque Angle*

Maximum Torque Angle atau *Reach Characteristic Angle* adalah sudut ketika *reach setting* mencapai maksimum [12], dalam hal ini dapat diartikan sudut dari diameter lingkaran Mho. MTA berguna untuk menentukan sudut dan posisi dari Mho-circle. Besaran sudut MTA disetting sesuai dengan impedansi urutan positif penghantar yang akan diproteksi.

c. *Resistive Load*

Rele jarak harus dapat membedakan antara impedansi saat kondisi berbeban dengan impedansi pada saat terjadi gangguan. Oleh karena itu jangkauan *setting* rele jarak harus mempertimbangkan impedansi beban (*resistive load*) dan tidak boleh menjangkau daerah tersebut. Perhitungan impedansi beban dapat ditentukan dengan rumus berikut:

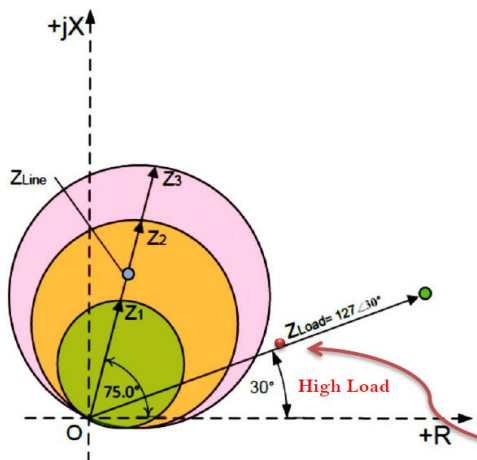
$$Z = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3} I_L} \times CT/PT \quad (2.3)$$

d. Zero Compensation Factor

Pada saat gangguan hubung singkat fasa ke tanah, pengukuran impedansi akan mencakup impedansi urutan nol. Hal ini dapat mengakibatkan terjadinya kesalahan pengukuran oleh rele jarak. Untuk itu, diperlukan faktor kompensasi sebagai parameter *setting* untuk gangguan fasa ke tanah [12]. Faktor kompensasi urutan nol dapat dihitung melalui persamaan dibawah ini:

$$K0 = \frac{z0-z1}{3z1} \quad (2.4)$$

Karakteristik rele mho digambarkan dalam diagram impedansi R-X yang merupakan lingkaran dimana diameternya memotong titik pusat dari sistem koordinat. Besarnya diameter tersebut menggambarkan *setting reach* untuk tiap zona dan posisi lingkaran tersebut ditentukan oleh sudut fasa yang biasa disebut *maximum torque angle*. Rele jarak dengan karakteristik mho bekerja apabila impedansi yang terukur berada di dalam lingkaran. Untuk lebih jelasnya karakteristik rele jarak tipe mho dapat dilihat pada Gambar 2.3 dibawah ini:



Gambar 2. 3 Kurva Karakteristik Mho

2.4.1 *Directional Earth Fault*

Gangguan hubung singkat ke tanah dapat mengakibatkan resistansi gangguan yang tinggi [2]. Hal ini akan menyebabkan rele jarak mengalami underreach atau bahkan tidak dapat bekerja ketika impedansi yang terukur berada di luar lingkaran mho. Resistansi gangguan yang tinggi dapat disebabkan oleh peristiwa *arcng* pada saat hubung singkat ke tanah. Untuk mengantisipasi hal tersebut rele jarak perlu dilengkapi dengan DEF (*Directional Earth Fault*). DEF adalah relai arus lebih berarah dengan deteksi arus 3Io dan referensi tegangan -3Vo yang bekerja mengamankan penghantar dari gangguan fasa ke tanah yang bersifat tahanan tinggi (*high resistance*).

2.4.2 **GE Multilin D60**

Rekomendasi *setting* proteksi pada saluran transmisi *backbone* 275 kV Kalimantan menggunakan manufaktur rele GE Multilin D60. GE Multilin D60 merupakan rele jarak yang dapat disetting dengan karakteristik mho dan dilengkapi dengan DEF pada kubikelnya. Berikut merupakan data-data terkait untuk spesifikasi jenis rele ini:

- Characteristic: Dynamic (100% memory-polarized) MHO or QUAD, selectable individually per zone
- Number of Zones: 4
- Directionality: All zones reversible
- Reach (secondary Ω): 0.02 to 250.00 Ω in steps of 0.01
- Reach accuracy: $\pm 5\%$
- DEF pickup : 0,001 In to 30 In, dengan *step* 0.001 In

2.5 **Rele Diferensial**

Rele difirensial merupakan rele yang hanya bekerja jika gangguan terjadi pada daerah yang diproteksi dan tidak terpengaruh oleh gangguan eksternal. Pada sistem transmisi rele ini digunakan untuk proteksi utama pada busbar gardu induk. Busbar gardu induk yang diproteksi rele diferensial biasanya merupakan gardu induk yang merupakan outlet dari pembangkit atau gardu induk yang merupakan outlet IBT (275/150kV, 150/70 kV, 275/150 kV) [14]. Rele diferensial digunakan sebagai pengaman utama karena karakteristiknya yang dapat bekerja secara cepat dan selektif mengamankan gangguan.

Prinsip kerja rele diferensial mengacu pada hukum kirchoff yaitu keseimbangan antara jumlah arus yang masuk (*ingoing*) dan jumlah arus yang keluar(*outgoing*) pada suatu titik [7]. Dengan demikian, rele diferensial tidak akan terpengaruh oleh gangguan overload atau gangguan eksternal dikarenakan arus *ingoing* dan *outgoing* pada titik proteksi akan selalu linier. Namun dalam beberapa kasus akan muncul arus tidak seimbang yang disebut arus diferensial palsu yang dapat menyebabkan rele salah kerja. Penyebab timbulnya arus ini adalah saturasi CT yang menyebabkan arus sekunder CT tidak linier terhadap arus primer CT [5].

2.5.1 *Low impedance bus differential Rele*

Low impedance bus differential rele adalah rele yang bekerja sangat cepat dengan kisaran waktu kurang dari 1 *cycle* [9]. Rele ini biasanya berbasis mikroprosesor dan memungkinkan untuk perbedaan rasio dari CT dalam pengaplikasiannya [10]. Prinsip kerja dari rele ini yaitu dengan cara menjumlahkan arus-arus yang terbaca pada setiap CT yang tersambung pada rele differensial(87B) .

Pada rele ini terdapat kumparan penahan (*restraint coil*) yang berfungsi untuk menahan rele tidak bekerja ketika terdapat arus gangguan eksternal yang besar. Hal ini disebabkan oleh semakin besar arus gangguan yang melewati rele maka kopel yang dihasilkan oleh kumparan penahan juga semakin besar sehingga mencegah terjadinya kesalahan tripping. Sedangkan apabila terjadi gangguan internal, arus yang mengalir melalui kumparan akan saling memperlemah karena berlawanan arah sehingga kopel yang dihasilkan akan kecil.

Persamaan kopel pada rele *low impedance differential* sebagai berikut :

- Kopel operasi pada *operating coil* :

$$TO = (i1 - i2) NO \quad (2.4)$$

- Kopel lawan pada *restraining coil* :

$$Tr1 = 0.5 Nr \times i1 \quad (2.5)$$

$$Tr2 = 0.5 Nr \times i2 \quad (2.6)$$

Berdasarkan persamaan 2.5 dan 2.6 diperoleh torsi *restraining coil* sebagai berikut :

$$Tr = Tr1 + Tr2 \quad (2.7)$$

$$Tr = (0.5 Nr \times i1) + (0.5 Nr \times i2) \quad (2.8)$$

$$Tr = 0.5 Nr (i1 + i2) \quad (2.9)$$

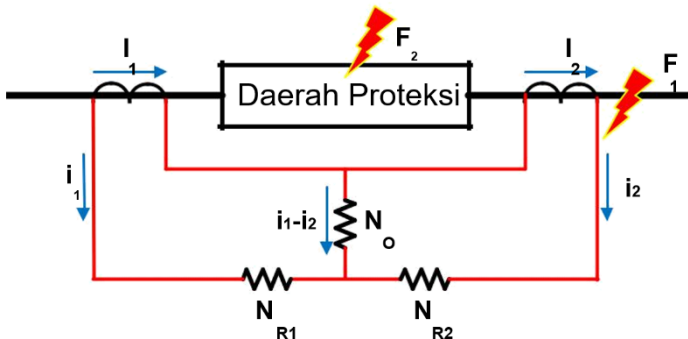
Keterangan :

i_1, i_2 : arus sekunder pada CT1 dan CT2

No, Nr : Jumlah lilitan *operating coil* dan *restraining coil*

Rele diferensial akan bekerja (mengirim sinyal *trip*) apabila memenuhi syarat sesuai Gambar 2.4 berikut :

$$To > Tr \tag{2.10}$$



Gambar 2. 4 Skema rele diferensial *low impedance*

Pada Gambar 2.4 dapat kita lihat ketika kondisi normal maka arus i_1 dan i_2 akan bernilai sama sehingga menurut persamaan 2.4 torsi operasi akan sama dengan nol. Sedangkan torsi restraining akan bernilai sehingga menurut persamaan 2.10 rele diferensial tidak akan bekerja karena tidak memenuhi $T_o > T_r$. Pada kasus ini berlaku juga untuk kasus gangguan eksternal.

Namun pada saat terjadi gangguan internal, arah arus i_1 dan i_2 akan saling berlawanan sehingga menurut persamaan 2.4 torsi operasi akan bernilai. Sedangkan torsi restraining akan sama dengan nol sehingga menurut persamaan 2.10 rele diferensial akan mengirim sinyal trip karena memenuhi $T_o > Tr$

Setting rele differensial harus mempertimbangkan besar arus gangguan di sekitar daerah yang diamankan. Hal ini dikarenakan rele tidak diperbolehkan trip ketika ada kontribusi arus gangguan eksternal. Arus gangguan eksternal yang digunakan untuk *setting* adalah arus gangguan minimum hubung singkat antar fasa $\frac{1}{2}$ cycle. Rele diferensial *low impedance* mempunyai beberapa parameter *setting* antara lain:

a. Idiff

Idiff merupakan selisih arus yang mengalir oleh CT incoming dengan CT outgoing dari rele. Idiff sering juga disebut dengan Iop (arus operasi). Menurut IEEE Std C.37.234 parameter *setting* kerja rele diferensial dapat dilihat pada persamaan berikut ini :

$$IOP = IDIFF = |I1 + I2 + I3 + \dots + In| \quad (2.11)$$

b. Irestrain

Irestrain merupakan arus yang menyuplai kumparan penahan (restrain coil). *Setting* arus restrain untuk tiap manufaktur rele diferensial tidaklah sama. Terdapat beberapa fungsi persamaan untuk menentukan arus *restraint* antara lain:

$$IR = \frac{1}{n}(|I1| + |I2| + |I3| + \dots + |In|) \quad (2.12)$$

$$IR = \max(|I1|, |I2|, |I3|, \dots, |In|) \quad (2.13)$$

$$IR = \frac{1}{2}(|I1| + |I2| + |I3| + \dots + |In|) \quad (2.14)$$

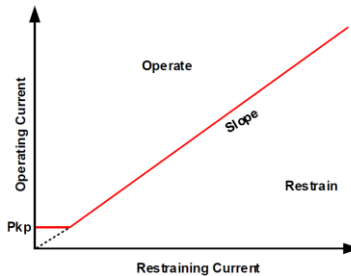
$$IR = (|I1| + |I2| + |I3| + \dots + |In|) \quad (2.15)$$

c. Slope

Slope merupakan perbandingan antara Idiff dengan Irestrain. Pada dasarnya slope digunakan untuk menentukan batas area rele kerja (operate region) dan tidak kerja (restrain region). Nilai dari slope dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Slope}(\%) = \frac{Idiff}{Irestrain} \times 100\% \quad (2.16)$$

Setting pada *low impedance* umumnya digambarkan dengan grafik Ioperasi dan Irestraint. Rele diferensial *low impedance* memiliki arus operasi minimal yang disebut *pick up setting* (Pkp). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.5 dibawah ini:



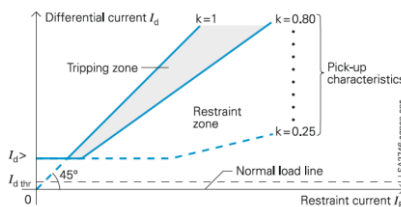
Gambar 2. 5 Kurva Karakteristik Rele Diferensial

2.5.2 Siemens 7SS60

Rekomendasi *setting* proteksi untuk bus diferensial pada tiap GI yang tersambung *backbone* 275 kV menggunakan manufaktur rele Siemens 7SS60. Rele siemens 7SS60 merupakan *low impedance* bus rele yang dapat digunakan mengamankan beberapa feeder sekaligus. Berikut merupakan data-data yang terkait untuk spesifikasi jenis rele ini:

- $I_{Diff} = |I1 + I2 + \dots + In|$
- $I_{Restrict} = |I1| + |I2| + \dots + |In|$
- *Setting* ranges for pick-up threshold Differential current: $I_d > 0.20$ to $2.50 I_{no}$
- Tolerance of pick-up value Differential current:
 $I_d > \pm 5\%$ of setpoint
- Restraint factor : *0.25 to 0.80*

Rele diferensial ini memiliki karakteristik slope seperti pada gambar 2.6 dengan kemiringan slope dapat diatur menggunakan k factor.



Gambar 2. 6 Kurva Karakteristik 7SS60

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

SISTEM KELISTRIKAN KALIMANTAN DAN PERENCANAANYA

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai sistem kelistrikan Kalimantan eksisting beserta perencanaanya. Plant yang akan digunakan untuk menyelesaikan permasalahan tugas akhir ini yaitu perencanaan *backbone* Kalimantan 275kV pada tahun 2028. Pemilihan plant *backbone* tahun 2028 ini didasarkan pada ketahanan *backbone* 275 kV yang mencapai batas maksimalnya pada tahun tersebut. Hal ini dikarenakan pada tahun 2029 pembebanan pada salah satu line melebihi 50 % sehingga kontingensi pada saluran *backbone* tidak lagi memungkinkan.

3.1 Sistem Kelistrikan Eksisting Kalimantan

Pada kondisi eksisting, sistem kelistrikan Kalimantan masih menggunakan skenario regional balance dengan tegangan 150 kV untuk sistem transmisinya. Pada skenario ini, masing-masing daerah menyuplai kebutuhan dayanya secara mandiri tanpa adanya transfer daya dari daerah satu ke daerah lainnya. Sistem ini memiliki kelemahan yaitu ketika sebuah pembangkit memerlukan maintenance, akan ada pemutusan beban (load shedding) dikarenakan suplai daya yang dihasilkan kurang dari daya yang dibutuhkan beban. Oleh karena itu, direncanakan sebuah sistem *backbone* yang menginterkoneksi seluruh Kalimantan untuk memungkinkan adanya transfer daya antar daerah sehingga kerugian-kerugian akibat pemutusan beban dapat dihindari.

Menurut RUPTL 2017-2026, sistem eksisting kelistrikan Kalimantan dapat digolongkan menjadi 3 yaitu Kalbar, Kalselteng dan Kaltimra. Data-data pembebanan dan pembangkitan akan dirinci pada subbab dibawah ini.

3.1.1 Data Kelistrikan Kalimantan Barat

Pada subbab ini akan ditampilkan data-data pembebanan pada setiap GI dan data pembangkitan sistem kelistrikan Kalimantan Barat pada kondisi eksisting yaitu tahun 2017 dalam Tabel 3.1 dibawah:

Tabel 3. 1 Rincian Pembebanan Kalbar tahun 2017

Nama GI	Beban (MW)
Sei Raya	97,9
Kota Baru	28,4
Siantan	44,7
Rasau	25,0
Parit baru	14,9
Senggiring	29,3
Singkawang	32,9
Sambas	21,4
Sanggau	12,1
Sekadau	7,8
Tayan	11,1
Ngabang	7,2
Bengkayang	7,0
Air Upas	25,0
TOTAL	364,80

Tabel 3.2 dibawah merupakan rincian pembangkit eksisting pada sistem kelistrikan Kalimantan Barat beserta kapasitasnya:

Tabel 3. 2 Rincian Pembangkitan Kalbar Tahun 2017

Jenis	Nama	Unit	Kapasitas (MW)
PLTU	Parit Baru (FTP 1)	#1	1 x 50
PLTG	MPP Kalbar	#1,2,3,4	4 x 25
PLTG	Kalbar Peaker	#1,2,3,4	4 x 25
INT	Serawak	-	230
Total			480

3.1.2 Data Kelistrikan Kalimantan Selatan dan Tengah

Pada subbab ini akan ditampilkan data-data pembebanan pada setiap GI dan data pembangkitan sistem kelistrikan Kalimantan Selatan dan Tengah pada kondisi eksisting yaitu tahun 2017 pada Tabel 3.3 dibawah:

Tabel 3. 3 Rincian Pembebanan Kalselteng pada tahun 2017

Nama GI	Beban (MW)
Pangk. Bun	14,9
Kasongan	14,9
Sampit	31,7
Puruk Cahu	4,0
Taweh	8,5
Buntok	9,4
Palangkaraya	46,7
Pulpis	7,9
Selat	21,2
Amuntai	21,8
Aranio	2,9
Asam	10,9
Bandara	14,7
Barikin	34,2
Batulicin	24,0
Cempaka	5\3,4
Cempaka 70	5,9
Kayutangi	16,0
Mantul	31,4
Paringin	11,9
Pelaihari	23,9
Rantau	23,1
Satui	12,9
Sebar	11,7
Tanjung	21,9
Trisakti 150	47,9
Trisakti 70	11,6
TOTAL	539,38

Tabel 3.4 merupakan rincian pembangkit eksisting pada sistem kelistrikan Kalimantan Selatan dan Tengah beserta kapasitasnya:

Tabel 3. 4 Rincian Pembangkitan Kalselteng tahun 2017

Jenis	Nama	Unit	Kapasitas (MW)
PLTU	Asam-Asam	#1,2	2 x 65
PLTU	Asam-Asam	#3,4	2 x 65
PLTU	Pulang Pisau	#1,2	2 x 65
PLTMG	Bangkanai	#1-16	16 x 10
PLTA	Riam Kanan	#1	90
Total			640

3.1.3 Data Kelistrikan Kalimantan Timur dan Utara

Pada subbab ini akan ditampilkan data-data pembebanan pada setiap GI dan data pembangkitan sistem kelistrikan Kalimantan Selatan dan Tengah pada kondisi eksisting yaitu tahun 2017 dalam Tabel 3.5 dibawah:

Tabel 3. 5 Rincian Pembebanan Kaltimra tahun 2017

Nama GI	Beban (MW)
Manggar	46,8
Karjo	27,6
New BPP	29,1
TLK BPP	10,3
Puntung	16,7
Kuaro	3,4
Komam	3
N.Samarinada	24,4
Samberah	14,2
Sambutan	24
Bukuan	17,3
Haru	28,3
Tengkawan	89,1

Tabel 3. 6 Rincian Pembebanan Kaltimra tahun 2017 (Lanjutan)

Nama GI	Beban (MW)
Embalut	23,9
Bukit Biru	27,5
Kota Bangun	4,3
Senipah	9
Bontang	19,8
Sanggata	18,7
Berau	26,52
Tanjung Selor	12,67
Malinau	9,07
Tana Tidung	1,89
Lati	4,14
TOTAL	516,69

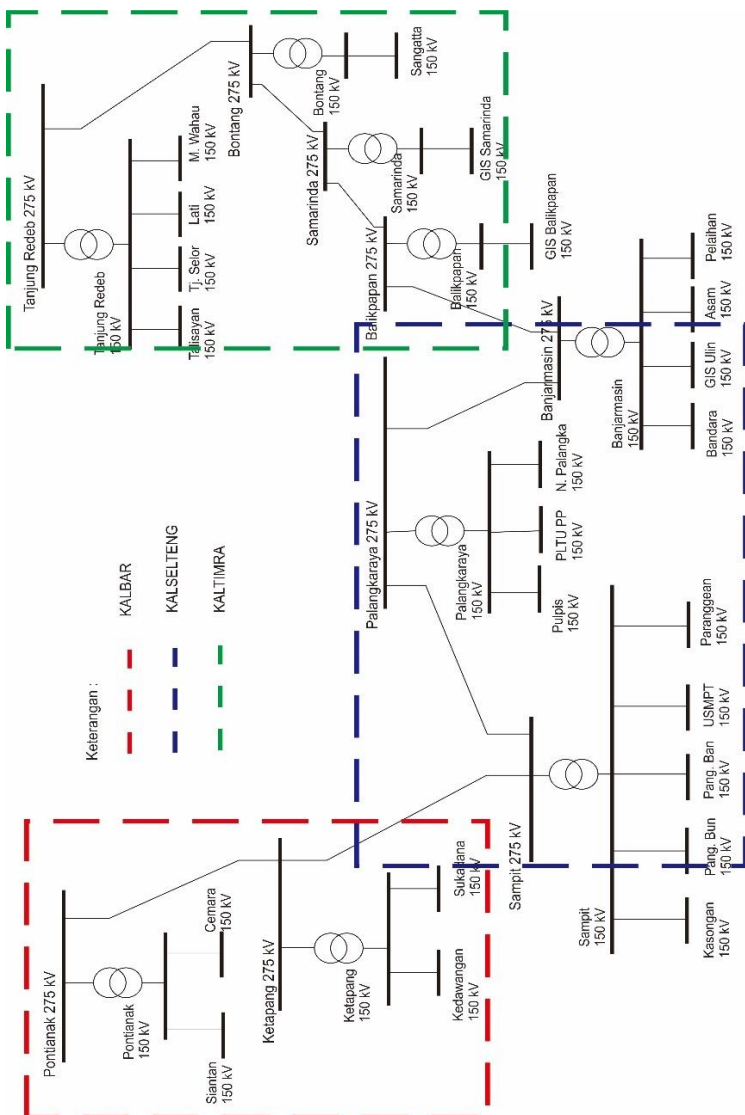
Tabel 3.6 berikut merupakan rincian pembangkit eksisting pada sistem kelistrikan Kalimantan Timur dan Utara beserta kapasitasnya:

Tabel 3. 7 Rincian Pembangkitan Kaltara tahun 2017

Jenis	Nama	Unit	Kapasitas (MW)
PLTU	Teluk Balikpapan	#1,2	2 x 50
PLTU	Embalut Ekspansi	#3	1 x 50
PLTU	Embalut	#1,2	2 x 25
PLTU	Kaltim (MT)	#1	1 x 27,5
PLTMG	MPP Kaltim	#1-4	4 x 10
PLTGU	Tanjung Batu	#1	60
PLTG	Senipah	#1,2	2 x 40
PLTG	Kaltim Peaking	#1,2	2 x 80
PLTG	Sambera	#1,2	2 x 20
PLTD	Cogindo	#1-4	4 x 10
Total			767.5

3.2 Sistem *Backbone* 275 kV Kalimantan

Dengan kondisi sekarang, transfer daya antar daerah yaitu Kalbar, Kalselteng, dan Kaltimra tidak memungkinkan karena belum ada jalur yang menghubungkan ketiga daerah tersebut. Dengan tidak adanya transfer daya akan menyebabkan beberapa kerugian diantaranya seperti suplai daya yang kurang efisien serta cost pembangkitan yang tinggi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka direncanakan sebuah sistem interkoneksi antar 3 daerah dengan menggunakan *backbone* 275kV. *Backbone* yang direncanakan akan menghubungkan 3 daerah yaitu Kalbar(Pontianak, Ketapang), Kalselteng (Sampit, Palangkaraya,Banjarmasin), dan Kaltimra (Balikpapan, Samarinda, Bontang, Tanjung Redeb).



Gambar 3. 1 Sistem *Backbone* 275 kV Kalimantan

3.2.1 Data Sistem Kelistrikan *Backbone* 275 kV Kalimantan

Pada Tabel 3.7 dibawah ini akan ditampilkan data-data peralatan pada perencanaan sistem *backbone* 275 kV Kalimantan dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 3. 8 Data Penghantar *Backbone* 275 kV Kalimantan

Dari	Menuju	Line	Panjang (km)	Jenis Kabel
Pontianak 275 kV	Ketapang 275 kV	2	230	Double Zebra 275 kV
Ketapang 275 kV	Sampit 275 kV	2	287	Double Zebra 275 kV
Sampit 275 kV	Palangkaraya 275 kV	2	110	Double Zebra 275 kV
Palangkaraya 275 kV	Banjarmasin 275 kV	2	180	Double Zebra 275 kV
Banjarmasin 275 kV	Balikpapan 275 kV	2	370	Double Zebra 275 kV
Balikpapan 275 kV	Samarinda 275 kV	2	95	Double Zebra 275 kV
Samarinda 275 kV	Bontang 275 kV	2	85	Double Zebra 275 kV
Bontang 275 kV	Tanjung Redeb 275 kV	2	280	Double Zebra 275 kV

Tabel 3. 9 Data Trafo *Backbone* 275 kV Kalimantan

Bus	Tegangan (kV)	Kapasitas (MVA)	%Z
Pontianak 275 kV	275/150	500	12.5
Ketapang 275 kV	275/150	500	12.5
Sampit 275 kV	275/150	500	12.5
Palangkaraya 275 kV	275/150	500	12.5
Banjarmasin 275 kV	275/150	500	12.5
Balikpapan 275 kV	275/150	500	12.5
Samarinda 275 kV	275/150	500	12.5
Bontang 275 kV	275/150	500	12.5
Tanjung Redeb 275 kV	275/150	500	12.5

3.2.1.1 Data Perencanaan Kelistrikan Kalimantan Barat

Pada Tabel 3.9 dibawah ini akan dibahas mengenai sistem perencanaan kelistrikan Kalimantan Barat yang tersambung *backbone* 275 kV dengan Kalimantan Barat diwakilkan oleh dua bus yaitu Pontianak 275 kV dan Ketapang 275 kV. Permodelan beban diasumsikan berada pada level tegangan 150 kV dengan data-data perencanaan pembangkitan dan pembebanan pada tahun 2028.

Tabel 3. 10 Rincian Pembebanan Kalbar Tahun 2028

Nama	Beban (MW)
Sei Raya	180,3
Cemara	62,2
Kota Baru	76,2
Siantan	98,2
Rasau	25,0

Tabel 3. 11 Rincian Pembebanan Kalbar Tahun 2028 (Lanjutan)

Nama	Beban (MW)
Parit baru	57,4
Senggiring	34,5
Singkawang	86,3
Sambas	46,8
Semparuk	19,5
Sanggau	56,1
Entikong	11,8
Sekadau	20,9
Kota Baru 2	10,7
Nanga Pinoh	18,8
Sintang	47,9
Putussibau	17,7
Tayan	29,9
Ngabang	15,9
Bengkayang	18,7
Ketapang	36,2
Sukadana	21,5
Sandai	8,6
Kendwangan	8,5
Air Upas	25,0
TOTAL	1034,33

Pada Tabel 3.10 dibawah ini akan dirincikan data tentang pembangkitan pada sistem kelistrikan Kalimantan Barat yang dibagi menjadi tiga yaitu pembangkitan eksisting, rencana pembangkitan tetap dan rencana pembangkitan variabel. rencana pembangkitan tetap adalah pembangkitan yang sudah berada dalam proses konstruksi berdasarkan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2017-2026 sedangkan rencana pembangkitan variabel adalah rencana pembangkitan yang belum tetap.

Tabel 3. 12 Rincian Total Pembangkitan Kalbar Tahun 2028

Pembangkitan Eksisting			
Jenis	Nama	Unit	Kapasitas (MW)
PLTU	Parit Baru (FTP 1)	#1	1 x 50
PLTG	MPP Kalbar	#1,2,3,4	4 x 25
PLTG	Kalbar Peaker	#1,2,3,4	4 x 25
INT	Serawak	-	230
Total			480
Rencana Pembangkitan Tetap			
Jenis	Nama	Unit	Kapasitas (MW)
PLTU	Kalbar 1	#1,2	2 x 100
PLTU	Parit Baru (FTP 2)	#1,2	2 x 55
PLTU	Parit Baru (FTP 1)	#1	1 x 50
PLTU	Pantai Kura-Kura	#1,2	2 x 27.5
Total			415
Rencana Pembangkitan Variabel			
Jenis	Nama	Unit	Kapasitas (MW)
PLTU	Kalbar 2	#1,2	2 x 100
PLTU	Kalbar 3	#1,2	2 x 100
Total			400

3.2.2 Data Perencanaan Kelistrikan Kalimantan Selatan dan Tengah

Pada Tabel 3.11 dibawah ini akan dibahas mengenai sistem perencanaan kelistrikan Kalimantan Selatan dan Tengah yang tersambung *backbone* 275 kV dengan Kalimantan Selatan dan Tengah diwakilkan oleh tiga bus yaitu Sampit 275 kV, Palangkaraya 275 kV dan Banjarmasin 275 kV. Permodelan beban diasumsikan berada pada level tegangan 150 kV dengan data-data perencanaan pembangkitan dan pembebanan pada tahun 2028.

Tabel 3. 13 Rincian Pembebanan Kalselteng tahun 2028

Nama GI	Beban (MW)
Sukamara	6,0
Nanga Bulik	8,5
Pangk. Bun	35,0
P. Banteng	10,8
Kasongan	35,0
Sampit	68,3
K.Pambuang	6,9
Paranggean	10,3
Kuala Kurun	6,9
Puruk Cahu	9,5
Taweh	19,0
Buntok	21,5
Palangkaraya	64,4
Pulpis	18,5
Selat	47,4
Palangkaraya	57,0
Amuntai	43,2
Aranio	4,5
Asam	24,3
Bandara	48,4
Barikin	51,3
Bati	36,1
Batulicin	65,6
Cempaka	144,2
Cempaka 70	5,1
GIS Ulin	116,9
Kadangan	22,1
Kayutangi	27,4
Kotabaru	27,4
Mantul	70,7
Marabahan	13,1
Paringin	26,5
Pelaihari	47,7

Tabel 3. 14 Rincian Pembebanan Kalselteng tahun 2028 (Lanjutan)

Nama GI	Beban (MW)
Rantau	60,0
Satui	28,9
Sebar	20,3
Sei Tabuk	28,5
Tamiang	7,6
Tanjung	56,9
Trisakti 150	144,2
Trisakti 70	10,5
TOTAL	1556,69

Pada Tabel 3.11 dibawah ini akan dirincikan data tentang pembangkitan pada sistem kelistrikan Kalimantan Selatan dan Tengah yang dibagi menjadi tiga yaitu pembangkitan eksisting, rencana pembangkitan tetap dan rencana pembangkitan variabel. rencana pembangkitan tetap adalah pembangkitan yang sudah berada dalam proses konstruksi berdasarkan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2017-2026 sedangkan rencana pembangkitan variabel adalah rencana pembangkitan yang belum tetap.

Tabel 3. 15 Rincian Total Pembangkitan Kalselteng tahun 2028

Pembangkitan Eksisting			
Jenis	Nama	Unit	Kapasitas (MW)
PLTU	Asam-Asam	#1,2	2 x 65
PLTU	Asam-Asam	#3,4	2 x 65
PLTU	Pulang Pisau	#1,2	2 x 65
PLTMG	Bangkanai	#1-16	16 x 10
PLTA	Riam Kanan	#1	90
Total			640
Rencana Pembangkitan Tetap			
Jenis	Nama	Unit	Kapasitas (MW)
PLTU	Kalsel (FTP 2)	#1,2	2 x 100
PLTU	Kalselteng 2	#1,2	2 x 100
PLTU	Kalselteng 1	#1,2	2 x 100

Tabel 3. 16 Rincian Total Pembangkitan Kalselteng tahun 2028
(Lanjutan)

PLTU	Sampit	#1,2	2 x 25
PLTMG	Bangkanai 2	#1-15	15 x 9
Total			785
Rencana Pembangkitan Variabel			
Jenis	Nama	Unit	Kapasitas (MW)
PLTG	Kalteng	#1-6	6 x 100
PLTA	Kusan	#1	65
Total			665

3.2.3 Data Perencanaan Kelistrikan Kalimantan Timur dan Utara

Pada Tabel 3.13 dibawah ini akan dibahas mengenai sistem perencanaan kelistrikan Kalimantan Timur dan Utara yang tersambung *backbone* 275 kV dengan Kalimantan Timur dan Utara diwakilkan oleh empat bus yaitu Balikpapan 275 kV, Samarinda 275 kV, Bontang 275 kV dan Tanjung Redep 275 kV. Permodelan beban diasumsikan berada pada level tegangan 150 kV dengan data-data perencanaan pembangkitan dan pembebanan pada tahun 2028.

Tabel 3. 17 Rincian Pembebanan Kaltara tahun 2028

Nama GI	Beban (MW)
Manggar	102,70
Karjo	69,50
New BPP	73,10
Balikpapan	45,10
TLK BPP	23,20
Sepaku	3,70
Pentung	42,30
Grogot	53,30
Kuaro	12,00
Komam	6,90
Samarinda	43,00
N.Samarinada	61,20
Samberah	26,80

Tabel 3. 18 Rincian Pembebanan Kaltara tahun 2028 (Lanjutan)

Nama GI	Beban (MW)
Sambutan	57,10
Sanga2	6,30
Bukuan	36,10
Haru	57,20
Samboja	13,10
Tengkawan	122,70
Embalut	45,20
Bukit Biru	69,10
Kota Bangun	10,80
K. Janggut	2,90
Ujoh Bilang	4,90
Senipah	21,30
Melak	28,50
Bontang	53,30
Sepaso	5,08
Maloi	7,80
B. Koala	21,70
Sanggata	44,20
Muara Wahau	7,20
M. Bengkal	3,50
Talisayan	7,20
Tj.Redeb	3,28
Lati	65,99
Tj. Batu	8,52
Tj. Selor	1,50
Sekatak	36,34
Tidung Pale	4,85
Malinau	4,96
Sebuku	26,14
Nunukan	1,41
TOTAL	1350,1

Pada Tabel 3.14 dibawah ini akan dirincikan data tentang pembangkitan pada sistem kelistrikan Kalimantan Selatan dan Tengah yang dibagi menjadi tiga yaitu pembangkitan eksisting, rencana

pembangkitan tetap dan rencana pembangkitan variabel. rencana pembangkitan tetap adalah pembangkitan yang sudah berada dalam proses konstruksi berdasarkan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2017-2026 sedangkan rencana pembangkitan variabel adalah rencana pembangkitan yang belum tetap.

Tabel 3. 19 Rincian Total Pembangkitan Kaltara 2028

Pembangkitan Eksisting			
Jenis	Nama	Unit	Kapasitas (MW)
PLTU	Teluk Balikpapan	#1,2	2 x 50
PLTU	Embalut Ekspansi	#3	1 x 50
PLTU	Embalut	#1,2	2 x 25
PLTU	Kaltim (MT)	#1	1 x 27,5
PLTMG	MPP Kaltim	#1-4	4 x 10
PLTGU	Tanjung Batu	#1	60
PLTG	Senipah	#1,2	2 x 40
PLTG	Kaltim Peaking	#1,2	2 x 80
PLTG	Sambera	#1,2	2 x 20
PLTD	Cogindo	#1-4	4 x 10
Total			767.5
Rencana Pembangkitan Tetap			
Jenis	Nama	Unit	Kapasitas (MW)
PLTU	Kaltim 4	#1,2	2 x 100
PLTU	Kaltim (FTP 2)	#1,2	2 x 100
PLTU	Kaltim 5 (MT)	#1,2	2 x 100
PLTU	Kaltim (MT)	#2	1 x 27.5
PLTGU	Senipah	#1	1 x 36
PLTG	Kaltim Peaker 2	#1-5	5 x 50
Total			913.5
Rencana Pembangkitan Variabel			
Jenis	Nama	Unit	Kapasitas (MW)
PLTA	Kelai	-	55
Total			55

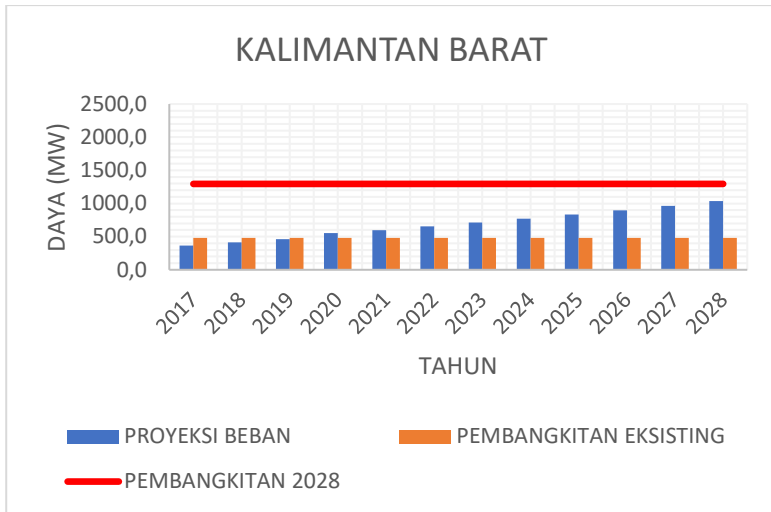
3.3 Analisis Kondisi Eksisting dan Perencanaan

Analisis Kondisi Eksisting dan Perencanaan dilakukan untuk mengetahui perbandingan suplai daya yang dihasilkan dengan demand beban yang dibutuhkan. Data yang akan dibedah pada tiap area meliputi pembangkitan eksisting, proyeksi beban tahun 2017-2028, dan pembangkitan total tahun 2028.

3.3.1 Analisis Kondisi Perencanaan Area Kalimantan Barat

Pada kondisi eksisting dapat kita lihat pada tabel 3.1 dan tabel 3.2 demand beban sebesar 354,80 MW dengan total pembangkitan sebesar 480 MW. Pada kondisi ini suplai daya ke beban dapat dikatakan mencukupi. Namun pada tahun 2028, beban diproyeksikan akan bertambah besar dengan nilai total 1034,33 MW. Dengan skema regional balance, kontinuitas suplai daya dapat terhenti apabila salah satu pembangkit dengan kapasitas terbesar (Kalbar 1) mengalami maintenance atau berhenti beroperasi.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan penginterkoneksi antar area dengan *backbone* 275 kV agar kekurangan daya dapat disuplai oleh area lain. Untuk perbandingan suplai daya dan demand beban dengan parameter pembangkitan eksisting, proyeksi beban, dan pembangkitan total tahun 2028 dapat dilihat pada grafik Gambar 3.2 berikut:

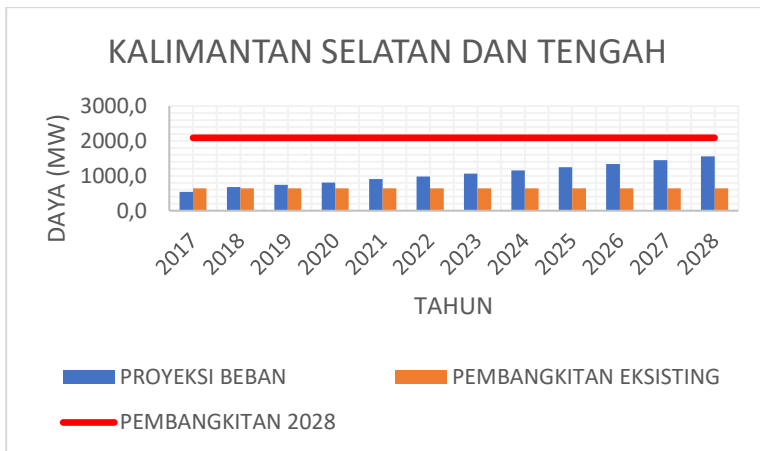


Gambar 3. 2 Proyeksi beban dan Pembangkitan Kalbar tahun 2017-2028

3.3.2 Analisis Kondisi Perencanaan Area Kalimantan Selatan dan Tengah

Pada kondisi eksisting dapat kita lihat pada tabel 3.3 dan tabel 3,4 demand beban sebesar 539 MW dengan total pembangkitan sebesar 640 MW. Pada kondisi ini suplai daya ke beban dapat dikatakan mencukupi. Namun pada tahun 2028, beban diproyeksikan akan bertambah besar dengan nilai total 1556,69 MW dan dengan nilai pembangkitan sebesar 2090 MW. Proyeksi ini dapat dilihat pada grafik Gambar 3.3 dibawah.

Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa sebenarnya skema regional balance memungkinkan untuk tetap dilakukan. Akan tetapi dengan mempertimbangkan potensi energi terbarukan yang ada pada Kalimantan Selatan yaitu berupa angin dan Kalimantan Tengah yang berupa biomassa, diperlukan interkoneksi antar daerah agar pemanfaatan sumber energi primer lokal dapat dijalankan secara optimal.

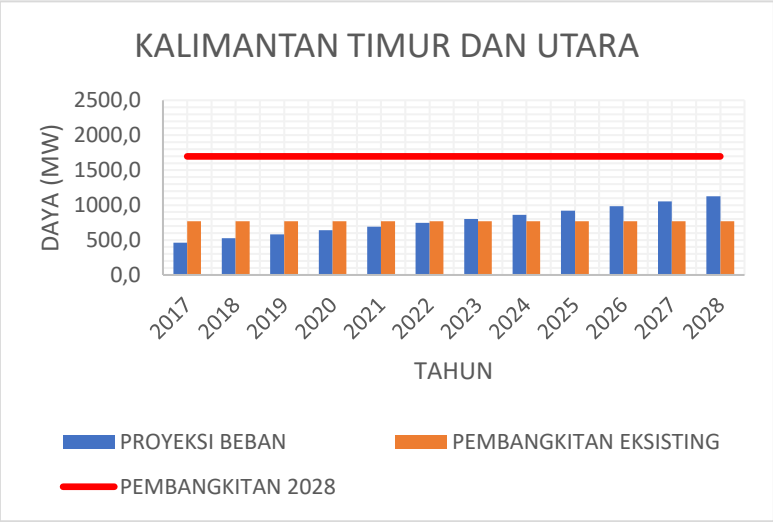


Gambar 3. 3 Proyeksi beban dan Pembangkitan Kalselteng tahun 2017-2028

3.3.4 Analisis Kondisi Perencanaan Area Kalimantan Timur dan Utara

Pada kondisi eksisting dapat kita lihat pada tabel 3.5 dan tabel 3.6 demand beban sebesar 516,69 MW dengan total pembangkitan sebesar 765 MW. Pada kondisi ini suplai daya ke beban dapat dikatakan mencukupi. Namun pada tahun 2028, beban diproyeksikan akan bertambah besar dengan nilai total 1350 MW dan dengan nilai pembangkitan sebesar 1735 MW. Proyeksi ini dapat dilihat pada grafik Gambar 3.4.

Dengan mengacu pada nilai-nilai tersebut, bisa dikatakan bahwa pada area Kaltimra, ketersediaan daya jauh lebih besar dibanding kebutuhan beban. Oleh karena itu, ketersediaan daya akan disalurkan ke area lain melalui *backbone* 275kV.



Gambar 3. 4 Proyeksi beban dan Pembangkitan Kaltimra tahun 2017 – 2028

BAB 4

HASIL ANALISIS DAN *SETTING* PROTEKSI SISTEM *BACKBONE* 275KV KALIMANTAN

Pada bagian ini akan dibahas mengenai analisis dan *setting* proteksi pada sistem *backbone* 275 kV Kalimantan. Pembahasan yang dilakukan meliputi permodelan sistem kelistrikan kalimantan tahun 2028, analisis arus gangguan hubung singkat pada jalur *backbone*, *setting* proteksi penghantar, dan *setting* proteksi bus differensial pada gardu induk outlet IBT 150/275 kV.

4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan *Backbone* 275 kV Kalimantan

Dalam memodelkan sistem kelistrikan *Backbone* 275 kV Kalimantan dilakukan dengan cara menggambarkan single line diagram menggunakan software Digsilent Power Factory 15.1. Pemodelan ini dilakukan dengan menggunakan data-data yang dijelaskan pada bab sebelumnya.

Setelah dilakukan pemodelan sistem kelistrikan *backbone* 275 kV, langkah selanjutnya yaitu melakukan simulasi loadflow. Simulasi loadflow digunakan untuk mengetahui apakah aliran daya dalam keadaan stabil dan berjalan dengan baik. Dengan melakukan analisis ini, kita dapat mengetahui pembebanan pada tiap bus dan peralatan yang terpasang.

Setelah melakukan analisis loadflow langkah selanjutnya yaitu melakukan simulasi hubung singkat untuk mengetahui besar arus hubung singkat yang mungkin terjadi. Nilai besaran arus hubung singkat ini digunakan sebagai acuan untuk menentukan *setting* proteksi *backbone* 275 kV Kalimantan.

4.2 Analisis Hubung Singkat *backbone* 275 kV Kalimantan

Analisis arus hubung singkat disimulasikan melalui software Digsilent Power Factory 15.1 untuk mendapatkan nilai arus saat terjadi gangguan sebagai pertimbangan untuk *setting* proteksinya. Nilai arus gangguan yang akan menjadi acuan *setting* proteksi pada *backbone* ini yaitu arus gangguan minimum antar fasa (L-L) $\frac{1}{2}$ cycle dan arus gangguan saat hubung singkat pada 100% panjang saluran.

Nilai arus hubung singkat antar fasa $\frac{1}{2}$ cycle digunakan dalam penentuan *setting* proteksi pada rele diferensial. Hal ini dikarenakan rele harus dapat bekerja dengan kisaran waktu antara $\frac{1}{2}$ cycle – 4 cycle ketika terjadi gangguan internal minimum(L-L). Sedangkan hubung singkat pada 100% panjang saluran digunakan untuk menentukan pola proteksi penghantar.

Selain parameter diatas, analisis hubung singkat juga digunakan dalam penentuan pola proteksi penghantar yang akan digunakan. Data-data yang diperlukan didapatkan dengan melakukan simulasi hubung singkat 3 fasa pada 100% panjang saluran penghantar. Data yang dimaksud meliputi besar arus gangguan serta tegangan yang terukur pada rele ketika terjadi gangguan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Nilai hubung singkat 3 fasa pada 100% panjang saluran

NO	LINE BACKBONE (GI ke GI)	V-LN (kV)	V-LN RELE(kV)	ISC 3 FASA (kA)
1	Pontianak - Ketapang	158,77	62,4	1,738
2	Ketapang - Sampit	158,77	64,2	1,434
3	Sampit - Palangkaraya	158,77	44,3	2,578
4	Palangkaraya - Banjarmasin	158,77	58,8	2,092
5	Banjarmasin - Balikpapan	158,77	106,3	1,840
6	Balikpapan - Samarinda	158,77	39,2	2,644
7	Samarinda - Bontang	158,77	51	3,842
8	Bontang - Tanjung Redep	158,77	97,9	2,238

4.3 Setting Proteksi Penghantar Backbone 275 kV Kalimantan

Pada bagian ini akan dibahas mengenai *setting* proteksi penghantar pada backbone 275 kV Kalimantan. *Setting* proteksi penghantar dilakukan dengan menentukan pola proteksi penghantar dan perhitungan *setting* rele.

4.3.1 Menentukan Pola Proteksi Penghantar

Untuk merencanakan *setting* proteksi penghantar, terlebih dahulu kita harus mengklasifikasikan panjang saluran penghantar tersebut agar

pola proteksi dapat dirancang sesuai dengan standar yang ada. Metode yang digunakan untuk pengklasifikasian panjang saluran adalah dengan SIR (Source Impedance Ratio). Menurut **IEEE C37.113, IEEE Guide for Protective Rel Applications to Transmission Lines** panjang saluran dapat dikategorikan sebagai berikut:

- Long line ($SIR < 0.5$)
- Medium line ($0.5 < SIR < 4$)
- Short line ($SIR > 4$)

Untuk menentukan nilai SIR dapat dilihat pada perhitungan berikut:

1. Saluran Pontianak - Ketapang

$$\begin{aligned} \bullet \quad Z_{source} &= \frac{V_{Base LN} - V_{Relay}}{I_{Relay}} = \frac{158,77 - 62,4}{1,738} = 55,45 \, \Omega \\ \bullet \quad SIR &= \frac{Z_{source}}{Z_{line}} = \frac{55,45}{71,84} = 0,77 \end{aligned}$$

Dengan nilai SIR sebesar **0,77** maka penghantar pada saluran Pontianak – Ketapang dapat diklasifikasikan sebagai saluran menengah. Pola proteksi penghantar yang dipilih menurut **SPLN T5.002-2:2010** adalah Teleproteksi Z+DEF dengan PLC sebagai pengaman utama dan cadangan Z.

2. Banjarmasin - Balikpapan

$$\begin{aligned} \bullet \quad Z_{source} &= \frac{V_{Base LN} - V_{Relay}}{I_{Relay}} = \frac{158,77 - 106,3}{1,840} = 28,52 \, \Omega \\ \bullet \quad SIR &= \frac{Z_{source}}{Z_{line}} = \frac{28,52}{115,57} = 0,25 \end{aligned}$$

Dengan nilai SIR sebesar **0,25** maka penghantar pada saluran Pontianak – Ketapang dapat diklasifikasikan sebagai saluran panjang. Pola proteksi penghantar yang dipilih menurut **SPLN T5.002-2:2010** adalah Teleproteksi Z+DEF dengan PLC sebagai pengaman utama dan cadangan Z.

Dengan metode perhitungan yang sama, hasil perhitungan SIR untuk seluruh saluran *Backbone* 275 kV dapat dilihat pada Tabel 4.2:

Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Nilai SIR

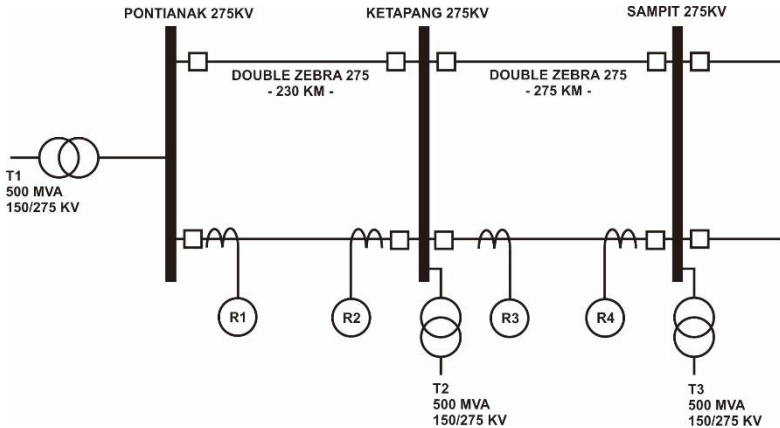
NO.	LINE <i>BACKBONE</i> (GI ke GI)	Z/km (Ω)	Panjang Saluran (km)	Zline (Ω)	ZSource (Ω)	SIR
1	Pontianak - Ketapang	0,31	230	71,84	55,45	0,77
2	Ketapang - Sampit	0,31	287	89,65	65,95	0,74
3	Sampit - Palangkaraya	0,31	110	34,36	44,40	1,29
4	Palangkaraya - Banjarmasin	0,31	180	56,22	47,79	0,85
5	Banjarmasin - Balikpapan	0,31	370	115,57	28,52	0,25
6	Balikpapan - Samarinda	0,31	95	29,67	45,22	1,52
7	Samarinda - Bontang	0,31	85	26,55	28,05	1,06
8	Bontang - Tanjung Redep	0,31	280	87,46	27,20	0,31

Pada tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa seluruh saluran pada *backbone* 275 kV Kalimantan diklasifikasikan sebagai saluran menengah dan panjang. Sehingga pola proteksi penghantar pada keseluruhan saluran dapat dipilih dengan tipikal Teleproteksi Z+DEF dengan PLC sebagai pengaman utama dan cadangan Z.

4.3.2 Perhitungan *Setting* Proteksi Penghantar

Setelah dipilih pola proteksi Teleproteksi Z+DEF dengan PLC sebagai pengaman utama dan cadangan Z, kita harus menghitung beberapa parameter pada rele untuk menentukan settingnya. Pada pola proteksi ini, digunakan rele jarak dengan skema teleproteksi yang dilengkapi DEF(*Directional Earth Fault*). Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai perhitungan *setting* proteksi saluran *backbone* yang

diwakilkan oleh saluran Pontianak 275kV – Ketapang 275kV dan Ketapang 275kV – Sampit 275kV seperti Gambar 4.1 dibawah:



Gambar 4. 1 Pemodelan Saluran Pontianak 275 kV – Ketapang 275 kV

Keterangan :

DOUBLE ZEBRA

- $R(+) = 0,0383 \Omega/\text{km}$ $X(+) = 0,31 \Omega/\text{km}$
- $R(0) = 0,00005 \Omega/\text{km}$ $X(0) = 0,00041 \Omega/\text{km}$

1. *Setting* Proteksi Pontianak 275kV – Ketapang 275kV

• Rele 1

Manufacturer	: General Electric Multilin
Model	: D60
Karakteristik	: Mho
Teleproteksi	: PUTT
FLA HV Side Trafo	: 1049,7 A
CT Ratio	: 1300/5
PT Ratio	: 275000/110
Line impedance 1	: $71,84 \angle 82,95^\circ$
Isc 1 fasa 30cycle	
Bus Ketapang	: 942 A

Reach Setting

Zona 1 : $0,8 \times \text{Line impedance} \times \text{CT/PT}$
 $0,8 \times 71,84 \times 0,104$

5,97 Ω (Time delay = 0 s)

Zona 2 : $1,2 \times \text{Line impedance} \times \text{CT/PT}$
 $1,2 \times 71,84 \times 0,104$

8,96 Ω (Time delay = 0,3 s)

Zona 3 : $1,25 \times \text{Zone 2} < Z_{\text{sett}} < Z_{\text{load}}$
 $1,25 \times 8,96 < Z_{\text{sett}} < 15,73$

$11,2 < Z_{\text{sett}} < 15,73$

Dipilih Z_{sett} dengan tap = **13,5 Ω**

Maximum Torque Angle

MTA : **82,95°**

Zero Compensation Factor

$$K_0 : \frac{z_0 - z_1}{3z_1} \\ \frac{(0,00005 + 0,00041j) - (0,0383 + 0,31j)}{3(0,3123 \angle 82,95^\circ)}$$

0,3327 \angle -179,98°

Resistive Load

$$Z_{\text{load}} : \frac{V_{LL}}{\sqrt{3} I_L} \times \text{CT/PT} \\ \frac{275000}{\sqrt{3} \times 1049,7} \times 0,104 \\ \mathbf{15,73 \Omega}$$

DEF pickup

5-10% $I_{sc} \text{ 1 fasa} < I_{\text{sett}} < 50\% I_{sc} \text{ 1 fasa}$

5-10% $942 < I_{\text{sett}} < 50\% 942$

$94,2 < I_{\text{sett}} < 471$

$\frac{94,2}{260} I_n < \text{Tap} < \frac{471}{260} I_n$

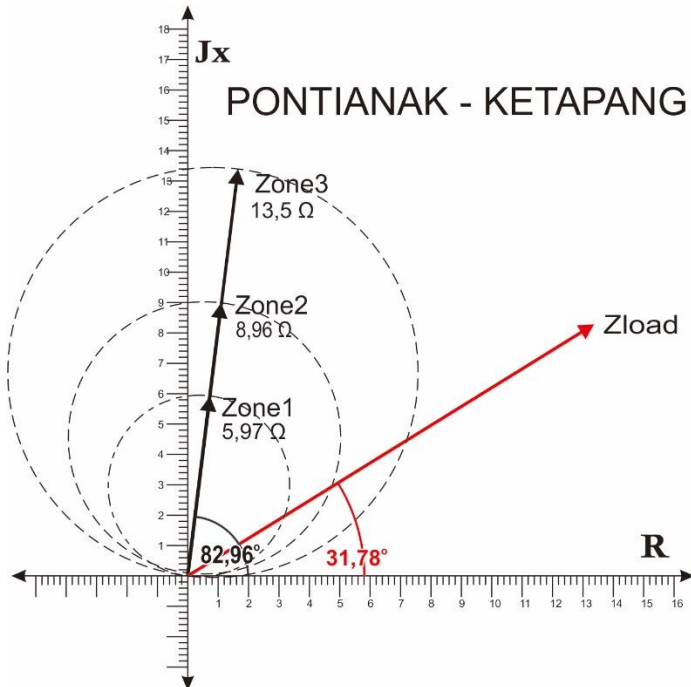
$0,36 I_n < \text{Tap} < 1,8 I_n$

(range : 0,001 I_n sampai 30 I_n , dengan step 0.001 I_n)

Dipilih tap = 1,5 I_n

$I_{\text{set}} = 390 \text{ A}$

Untuk parameter-parameter *setting* rele 2 dapat disetting tipikal sama dengan rele 1. Menggunakan nilai-nilai dan parameter *setting* yang telah dihitung, kurva mho rele 1 dan rele 2 dapat dijabarkan melalui Gambar 4.2 sebagai berikut:



Gambar 4. 2 Kurva Mho Pontianak - Ketapang

2. *Setting* Proteksi Ketapang 275kV – Sampit 275kV

- Rele 3

Manufacturer	: General Electric Multilin
Model	: D60
Karakteristik	: Mho
Teleproteksi	: PUTT
FLA HV Side Trafo	: 1049,7 A
CT Ratio	: 1300/5
PT Ratio	: 275000/110

Line impedance 1 : $89,64 \angle 82,95^\circ$
 Isc 1 fasa 30cycle
 Bus Sampit : 823 A

Reach Setting

Zona 1 : $0,8 \times \text{Line impedance 1} \times \text{CT/PT}$
 $0,8 \times 89,64 \times 0,104$
7,45 Ω (Time delay = 0 s)

Zona 2 : $1,2 \times \text{Line impedance 1} \times \text{CT/PT}$
 $1,2 \times 71,84 \times 0,104$
11,19 Ω (Time delay = 0,3 s)

Zona 3 : $1,25 \times \text{Zone 2} < Z_{\text{sett}} < Z_{\text{load}}$
 $1,25 \times 11,18 < Z_{\text{sett}} < 15,73$
 $13,41 < Z_{\text{sett}} < 15,73$
 Dipilih Z_{sett} dengan tap = **13,61 Ω**

Maximum Torque Angle

MTA : **82,95°**

Zero Compensation Factor

K0 :
$$\frac{z_0 - z_1}{3z_1} \frac{(0,00005 + 0,00041j) - (0,0383 + 0,31j)}{3(0,3123 \angle 82,95^\circ)}$$

0,3327 $\angle -179,98^\circ$

Resistive Load

Zload :
$$\frac{V_{LL}}{\sqrt{3} I_L} \times \text{CT/PT}$$

$$\frac{275000}{\sqrt{3} \times 1049,7} \times 0,104$$

15,73 Ω

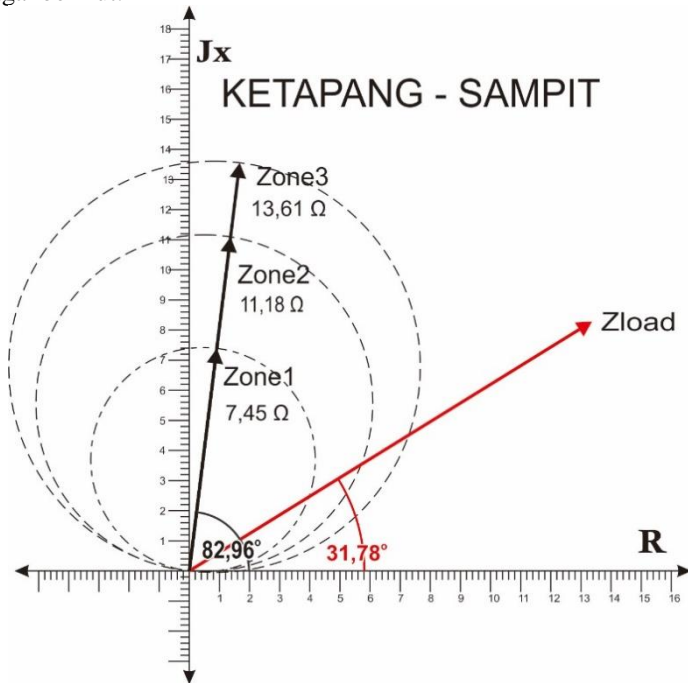
DEF pickup

5-10% Isc 1 fasa < Isett < 50% Isc 1 fasa
 $5-10\% \ 823 < I_{\text{sett}} < 50\% \ 823$
 $82,3 < I_{\text{sett}} < 411,5$
 $\frac{82,3}{260} I_n < \text{Tap} < \frac{411,5}{260} I_n$
 $0,315 I_n < \text{Tap} < 1,55 I_n$
 (range : 0,001 In sampai 30 In, dengan step 0.001 In)

Dipilih tap = 1,2 In

Iset = 312 A

Untuk parameter-parameter *setting* rele 4 dapat disetting tipikal sama dengan rele 3. Menggunakan nilai-nilai dan parameter *setting* yang telah dihitung, kurva mho rele 3 dan rele 4 dapat dijabarkan pada Gambar 4.3 sebagai berikut:



Gambar 4. 3 Kurva Mho Ketapang - Sampit

Menggunakan metode dan perhitungan yang sama, *setting* proteksi keseluruhan penghantar pada *backbone* 275 kV Kalimantan dapat dilihat pada Tabel 4.3:

Tabel 4. 3 *Setting* Proteksi Penghantar *backbone* 275 kV Kalimantan

No	LINE BACKBONE (GI ke GI)	Reach Setting			DEF Pickup (A)
		Zona 1 (Ω)	Zona 2 (Ω)	Zona 3 (Ω)	
1	Pontianak - Ketapang	5,97	8,97	13,5	390
2	Ketapang - Sampit	7,45	11,19	13,61	312
3	Sampit - Palangkaraya	2,86	4,29	10,59	442
4	Palangkaraya – Banjarmasin	4,68	7,02	10,27	468
5	Banjarmasin – Balikpapan	9,62	14,42	15,72	416
6	Balikpapan – Samarinda	2,47	3,70	6,40	520
7	Samarinda - Bontang	2,21	3,31	7,5	650
8	Bontang - Tanjung Redep	7,28	10,92	13,5	546

4.4 *Setting* Proteksi Bus Diferensial *Backbone* 275 kV Kalimantan

Pada bagian ini akan dibahas mengenai *setting* proteksi bus diferensial *backbone* 275 kV Kalimantan. Bus diferensial yang disetting adalah bus 150kV pada setiap gardu induk penghubung *backbone* 275kV. *Setting* proteksi dilakukan dengan menggunakan rele diferensial *low impedance*. Parameter *setting* yang harus dipertimbangkan adalah arus diferensial yang melalui rele 87B dan slope pada saat kondisi normal maupun gangguan hubung singkat diluar daerah yang diamankan. Pada subbab ini akan dibahas mengenai perhitungan *setting* rele diferensial yang diwakilkan oleh bus 150kV Ketapang dan bus 150 kV Palangkaraya.

Spesifikasi rele yang digunakan pada perhitungan *setting* dirincikan sebagai berikut.

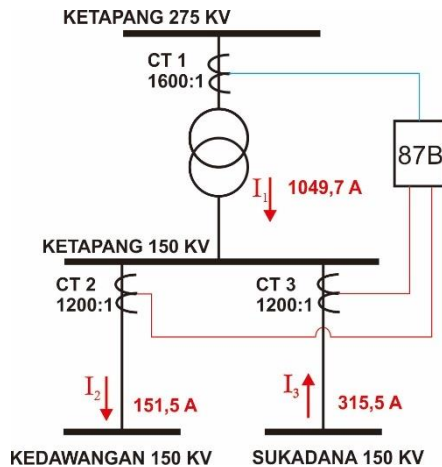
Manufacturer : SIEMENS
 Type : 7SS60
 Idiff pickup : Id > 0.20 to 2.50 Ino

Restraint factor : 0.25 to 0.80
 Differential criteria : $I_{Diff} = |I_1 + I_2 + \dots + I_n|$
 Restrain criteria : $I_{Restraint} = |I_1| + |I_2| + \dots + |I_n|$

1. *Setting* rele diferensial bus 150 kV Ketapang

Kondisi Normal

Pada kondisi normal, area ketapang mendapatkan suplai daya dari *backbone* dan gardu induk sukadana. Oleh karena itu arus mengalir dari *backbone* KETAPANG 275 kV dan SUKADANA 150KV menuju KETAPANG 150 kV kemudian mengalir ke KEDAWANGAN 150 KV. Sehingga didapatkan persamaan $I_1 = I_2 - I_3$. Pemodelan rele diferensial pada kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 4.4:



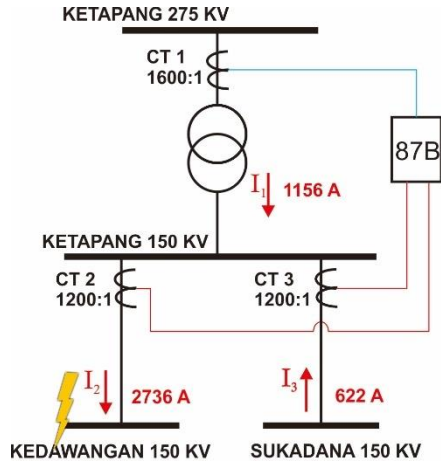
Gambar 4. 4 Pemodelan 87B saat kondisi normal

$$\begin{aligned}
 I_1 &= I_2 - I_3 \\
 \frac{1049,7}{1600/1} &= \left(\frac{151,5}{1200/1} - \frac{315,5}{1200/1} \right) \\
 0,656 &\neq -0,136 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{\text{Restrained}} &= (|I_1| + |I_2| + |I_3|) \\
&= 1,045 \text{ A} \\
I_{\text{Diff}} &= |I_1 - (I_2 - I_3)| \\
&= |0,656 - (-0,136)| \\
&= \mathbf{0,792 \text{ A}} \\
\text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{diff}}}{I_{\text{Restrained}}} \times 100\% \\
&= \frac{0,792}{1,045} \times 100\% \\
&= \mathbf{75,82\%}
\end{aligned}$$

Gangguan Eksternal 2 Fasa di KEDAWANGAN 150 KV

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di area KEDAWANGAN 150 KV, maka seluruh arus akan menuju pada titik gangguan. Pada kondisi ini, aliran arah arus yang mengalir akan identik dengan kondisi normal sehingga dapat ditulis $I_1 = I_2 - I_3$. Nilai arus hubung singkat antar fasa $\frac{1}{2}$ cycle pada bus KEDAWANGAN 150 KV dan pemodelan rele diferensial pada kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 4.5:

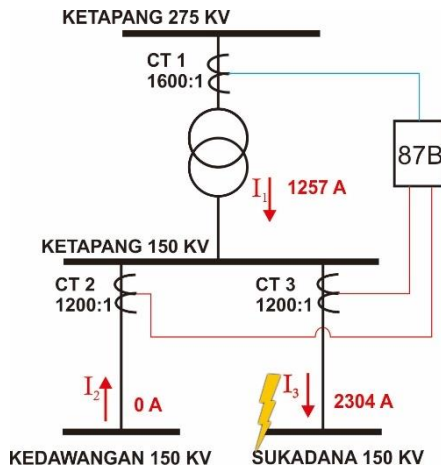


Gambar 4. 5 Pemodelan 87B saat hubung singkat L-L di KEDAWANGAN 150 KV

$$\begin{aligned}
 I_1 &= I_2 - I_3 \\
 \frac{1156}{1600/1} &= \left(\frac{2736}{1200/1} - \frac{622}{1200/1} \right) \\
 0,722 &\neq 1,761 \text{ A} \\
 I_{\text{Restrained}} &= (|I_1| + |I_2| + |I_3|) \\
 &= 3,52 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_1 - (I_2 - I_3)| \\
 &= |0,722 - 1,761| \\
 &= \mathbf{1,039 \text{ A}} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{diff}}}{I_{\text{Restrained}}} \times 100\% \\
 &= \frac{0,792}{1,045} \times 100\% \\
 &= \mathbf{29,51\%}
 \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal 2 Fasa di SUKADANA 150 KV

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di area SUKADANA 150 KV, maka seluruh arus akan menuju pada titik gangguan. Pada kondisi ini, tidak ada arus kontribusi dari gardu induk KEDAWANGAN 150 KV karena hanya dimodelkan beban statis. Namun terdapat perubahan arah arus pada SUKADANA 150 sehingga dapat ditulis $I_1 = -I_2 + I_3$. Nilai arus hubung singkat 2 fasa $\frac{1}{2}$ cycle pada bus SUKADANA 150 KV dan pemodelan rele diferensial pada kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 4.6:



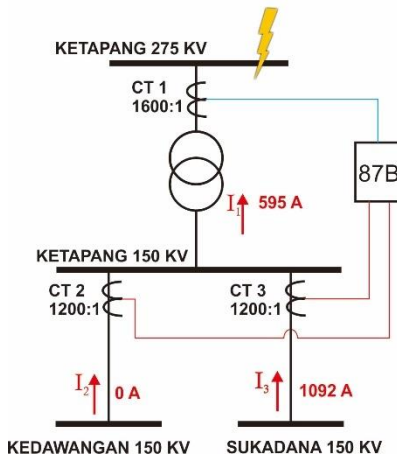
Gambar 4. 6 Pemodelan 87B saat hubung singkat L-L di SUKADANA 150 KV

$$\begin{aligned}
 I_1 &= -I_2 + I_3 \\
 \frac{1257}{1600/1} &= \left(\frac{0}{1200/1} + \frac{2304}{1200/1} \right) \\
 0,785 &\neq 1,92 \text{ A} \\
 I_{\text{Restrained}} &= (|I_1| + |I_2| + |I_3|) \\
 &= 2,706 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_1 - (I_2 - I_3)|
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= |0,785 - 1,92| \\
 &= \mathbf{1,134 \text{ A}} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{diff}}{I_{Restraint}} \times 100\% \\
 &= \frac{0,792}{1,045} \times 100\% \\
 &= \mathbf{41,92\%}
 \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal 2 Fasa di KETAPANG 275 KV

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di area KETAPANG 150 KV, maka seluruh arus akan menuju pada titik gangguan. Pada kondisi ini, tidak ada arus kontribusi dari gardu induk KEDAWANGAN 150 KV karena hanya dimodelkan beban statis. Namun terdapat perubahan arah arus pada SUKADANA 150 sehingga dapat ditulis $-I_1 = I_2 - I_3$. Nilai arus hubung singkat 2 fasa $\frac{1}{2}$ cycle pada bus KETAPANG 150 KV dan pemodelan rele diferensial pada kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 4.7



Gambar 4. 7 Pemodelan 87B saat hubung singkat L-L di KETAPANG 275 KV

$$\begin{aligned}
-I_1 &= I_2 - I_3 \\
-\frac{595}{1600/1} &= \left(\frac{0}{1200/1} - \frac{1092}{1200/1} \right) \\
-0,372 &\neq -0,91 \text{ A} \\
I_{\text{Restrained}} &= (|I_1| + |I_2| + |I_3|) \\
&= 1,282 \text{ A} \\
I_{\text{Diff}} &= |I_1 - (I_2 - I_3)| \\
&= |-0,372 - (-0,91)| \\
&= \mathbf{0,537 \text{ A}} \\
\text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{diff}}}{I_{\text{Restrained}}} \times 100\% \\
&= \frac{0,537}{1,282} \times 100\% \\
&= \mathbf{41,91 \%}
\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan Idiff dan slope yang telah dilakukan, dapat diketahui :

- Nilai Idiff terbesar adalah 1,134 A
- Nilai slope terbesar adalah 75,82%

Rele diferensial tidak boleh bekerja ketika kondisi normal dan gangguan diluar daerah pengaman. Oleh karena itu, dengan acuan nilai Idiff terbesar dan Slope terbesar maka dapat ditentukan *setting* rele diferensial sebagai berikut:

- *Setting* pickup
Setting pick up ditentukan berdasarkan Idiff terbesar (pickup > 1,134 A) dengan memperhatikan 5% error CT sehingga dipilih **1,5 A**
- *Setting* slope
Setting slope ditentukan berdasarkan Slope terbesar (pickup > 75,82%). Pada manufaktur ini, *setting* slope memerlukan restrain factor (k) yang bernilai antara 0,25 – 0,8 untuk merubah karakteristik trippingnya.
Slope *setting* = 80%

K factor = 0,6

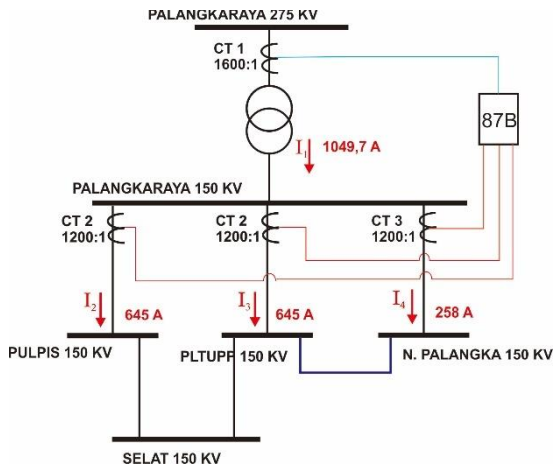
Slope manufaktur = $80\% \times 0,6 = 48\%$

Pertimbangan *setting* slope sebesar 80 % adalah dengan mengacu pada nilai perhitungan ketika kondisi normal dan gangguan eksternal. Namun untuk alasan kestabilan rele dan menghindari kemungkinan error CT, dipilih restrain factor sebesar 0,6 sebagai faktor pengali slope sehingga karakteristik tripping lebih selektif dan handal. *Setting* Idiff dan slope diatur dengan logika AND sehingga rele diferensial akan bekerja hanya jika terjadi gangguan yang menyebabkan nilai Idiff dan slopenya melewati batas settingnya.

2. *Setting* rele diferensial bus 150 kV Palangkaraya

Kondisi Normal

Pada kondisi normal, area palangkaraya mendapatkan suplai daya dari backbone. Oleh karena itu arus mengalir dari *backbone* PALANGKARAYA 275 KV menuju PULPIS 150KV, PLTUPP 150KV, N.PALANGKA 150 KV. Mengacu pada hal tersebut didapatkan persamaan $I_1 = I_2 + I_3 + I_4$. Pemodelan rele diferensial pada kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 4.8:

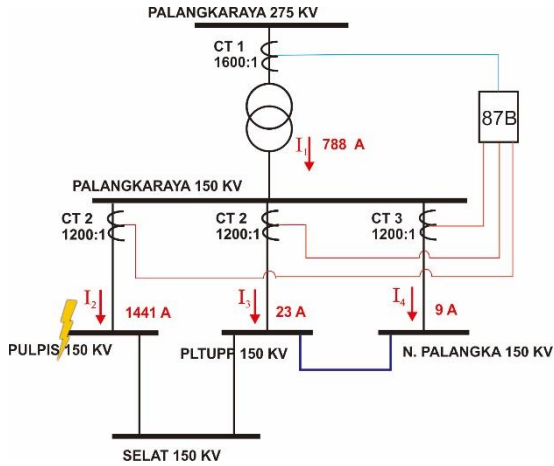


Gambar 4. 8 Pemodelan 87B saat kondisi normal

$$\begin{aligned}
I_1 &= I_2 + I_3 + I_4 \\
\frac{1049,7}{1600/1} &= \left(\frac{645}{1200/1} + \frac{645}{1200/1} + \frac{244}{1200/1} \right) \\
0,656 &\neq 1,278 \text{ A} \\
I_{Restrained} &= (|I_1| + |I_2| + |I_3|) \\
&= 1,934 \text{ A} \\
I_{Diff} &= |I_1 - (I_2 + I_3 + I_4)| \\
&= |0,656 - (1,278)| \\
&= \mathbf{0,622 \text{ A}} \\
Slope (\%) &= \frac{I_{diff}}{I_{Restrained}} \times 100\% \\
&= \frac{0,622}{1,934} \times 100\% \\
&= \mathbf{32,17\%}
\end{aligned}$$

Gangguan Eksternal 2 Fasa PULPIS 150 KV

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di area PULPIS 150 KV, maka seluruh arus akan menuju pada titik gangguan. Pada kondisi ini, arus kontribusi yang melewati N. PALANGKA 150 KV sangat kecil karena jarak saluran yang sangat panjang. Kondisi ini berlaku juga untuk arus kontribusi dari PALANGKARAYA 150KV menuju PLTUPP 150KV. Dengan mengacu pada hal tersebut didapatkan persamaan $I_1 = I_2 + I_3 + I_4$. Nilai arus hubung singkat 2 fasa $\frac{1}{2}$ cycle pada bus PULPIS 150 KV dan pemodelan rele diferensial pada kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 4.9:

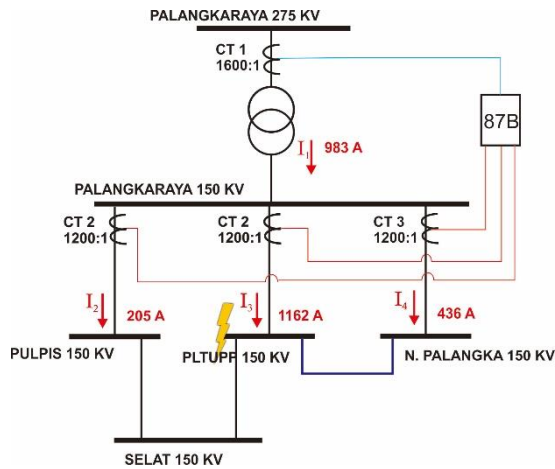


Gambar 4. 9 Pemodelan 87B saat hubung singkat L-L di PULPIS 150KV

$$\begin{aligned}
 I_1 &= I_2 + I_3 + I_4 \\
 \frac{788}{1600/1} &= \left(\frac{1441}{1200/1} + \frac{23}{1200/1} + \frac{9}{1200/1} \right) \\
 0,492 &\neq 1,227 \text{ A} \\
 I_{Restrained} &= (|I_1| + |I_2| + |I_3|) \\
 &= 1,72 \text{ A} \\
 I_{Diff} &= |I_1 - (I_2 + I_3 + I_4)| \\
 &= |0,492 - (1,227)| \\
 &= \mathbf{0,735 \text{ A}} \\
 Slope (\%) &= \frac{I_{diff}}{I_{Restrained}} \times 100\% \\
 &= \frac{0,735}{1,72} \times 100\% \\
 &= \mathbf{42,73\%}
 \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal 2 Fasa PLTUPP 150 KV

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di area PLTUPP 150 KV, maka seluruh arus akan menuju pada titik gangguan. Pada kondisi ini, didapatkan persamaan $I_1 = I_2 + I_3 + I_4$. Nilai arus hubung singkat 2 fasa $\frac{1}{2}$ cycle pada bus PLTUPP 150 KV dan pemodelan rele diferensial pada kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 4.10:



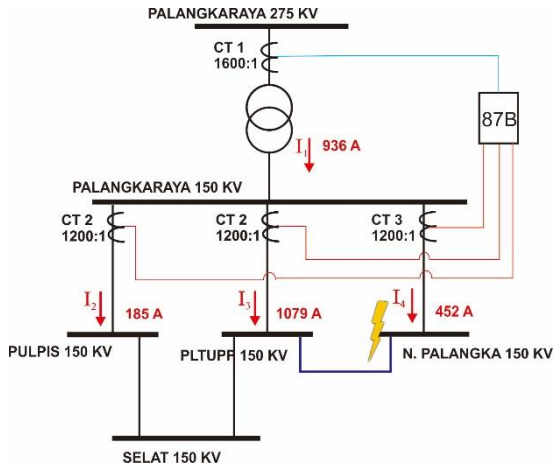
Gambar 4. 10 Pemodelan 87B saat hubung singkat L-L di PLTUPP 150 KV

$$\begin{aligned}
 I_1 &= I_2 + I_3 + I_4 \\
 \frac{983}{1600/1} &= \left(\frac{205}{1200/1} + \frac{1162}{1200/1} + \frac{436}{1200/1} \right) \\
 0,614 &\neq 1,502 \text{ A} \\
 I_{\text{Restrained}} &= (|I_1| + |I_2| + |I_3|) \\
 &= 2,116 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_1 - (I_2 + I_3 + I_4)| \\
 &= |0,614 - (1,502)| \\
 &= \mathbf{0,888 \text{ A}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{diff}}{I_{Restrain}} \times 100\% \\
 &= \frac{0,888}{2,116} \times 100\% \\
 &= \mathbf{41,95\%}
 \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal 2 Fasa N. PALANGKA 150 KV

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di area N. PALANGKA 150 KV, maka seluruh arus akan menuju pada titik gangguan. Pada kondisi ini, didapatkan persamaan $I_1 = I_2 + I_3 + I_4$. Nilai arus hubung singkat 2 fasa $\frac{1}{2}$ cycle pada bus N. PALANGKA 150 KV dan pemodelan rele diferensial pada kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 4.11:



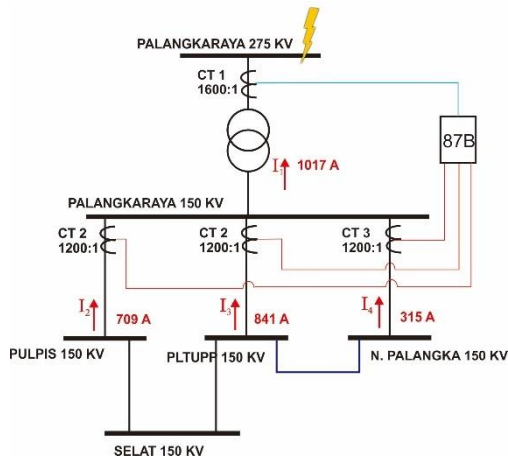
Gambar 4. 11 Pemodelan 87B saat hubung singkat L-L di N.PALANGKA 150 KV

$$\begin{aligned}
 I_1 &= I_2 + I_3 + I_4 \\
 \frac{936}{1600/1} &= \left(\frac{185}{1200/1} + \frac{1079}{1200/1} + \frac{452}{1200/1} \right) \\
 0,585 &\neq 1,432 \text{ A} \\
 I_{Restrain} &= (|I_1| + |I_2| + |I_3|)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2,018 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_1 - (I_2 + I_3 + I_4)| \\
 &= |0,585 - (1,432)| \\
 &= \mathbf{0,846 \text{ A}} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{diff}}}{I_{\text{Restraint}}} \times 100\% \\
 &= \frac{0,846}{2,018} \times 100\% \\
 &= \mathbf{41,96\%}
 \end{aligned}$$

Gangguan Eksternal 2 Fasa PALANGKARAYA 275 KV

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di area PALANGKARAYA 275 KV, maka seluruh arus akan menuju pada titik gangguan. Pada kondisi ini, didapatkan persamaan $I_1 = I_2 + I_3 + I_4$. Nilai arus hubung singkat 2 fasa $\frac{1}{2}$ cycle pada bus PALANGKARAYA 275 KV dan pemodelan rele diferensial pada kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 4.12:



Gambar 4. 12 Pemodelan 87B hubung singkat L-L di PALANGKARAYA 275 KV

$$\begin{aligned}
I_1 &= I_2 + I_3 + I_4 \\
\frac{1017}{1600/1} &= \left(\frac{709}{1200/1} + \frac{541}{1200/1} + \frac{315}{1200/1} \right) \\
0,635 &\neq 1,554 \text{ A} \\
I_{\text{Restrained}} &= (|I_1| + |I_2| + |I_3|) \\
&= 2,189 \text{ A} \\
I_{\text{Diff}} &= |I_1 - (I_2 + I_3 + I_4)| \\
&= |0,585 - (1,432)| \\
&= \mathbf{0,918 \text{ A}} \\
\text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{diff}}}{I_{\text{Restrained}}} \times 100\% \\
&= \frac{0,846}{2,018} \times 100\% \\
&= \mathbf{41,94\%}
\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan Idiff dan slope yang telah dilakukan, dapat diketahui :

- Nilai Idiff terbesar adalah 0,918 A
- Nilai slope terbesar adalah 42,73%

Rele diferensial tidak boleh bekerja ketika kondisi normal dan gangguan diluar daerah pengaman. Oleh karena itu, dengan acuan nilai Idiff terbesar dan Slope terbesar maka dapat ditentukan *setting* rele diferensial sebagai berikut:

- *Setting pickup*
Setting pickup ditentukan berdasarkan Idiff terbesar (pickup > 0,918 A) dengan memperhatikan 5% error CT sehingga dipilih **1,7 A**
- *Setting slope*
Setting slope ditentukan berdasarkan Slope terbesar (pickup > 42,73%). Pada manufaktur ini, *setting slope* memerlukan restrain factor (k) yang bernilai antara 0,25 – 0,8 untuk merubah karakteristik trippingnya.

$$\begin{aligned}\text{Slope setting} &= 70\% \\ \text{K factor} &= 0,6 \\ \text{Slope manufaktur} &= 70\% \times 0,6 = \mathbf{42\%}\end{aligned}$$

Pertimbangan *setting* slope sebesar 70 % adalah dengan mengacu pada nilai perhitungan ketika kondisi normal dan gangguan eksternal. Namun untuk alasan kestabilan rele dan menghindari kemungkinan error CT, dipilih restrain factor sebesar 0,6 sebagai faktor pengali slope sehingga karakteristik tripping lebih selektif dan handal. *Setting* Idiff dan slope diatur dengan logika AND sehingga rele diferensial akan bekerja hanya jika terjadi gangguan yang menyebabkan nilai Idiff dan slopenya melewati batas *setting*nya.

Menggunakan metode dan perhitungan yang sama, *setting* proteksi untuk keseluruhan gardu induk penghubung pada *backbone* 275 kV Kalimantan dapat dilihat pada Tabel 4.4:

Tabel 4. 4 *Setting* Rele Diferensial Gardu Induk Penghubung *Backbone* 275 kV

No	Gardu Induk	<i>Setting</i>			
		Idiff (A)	Slope (%)	K factor	Slope Manufaktur (%)
1	Pontianak 150 kV	2,5	85	0,6	51
2	Ketapang 150 kV	1,5	80	0,6	48
3	Sampit 150 kV	2,2	80	0,6	48
4	Palangkaraya 150 kV	1,7	70	0,6	42
5	Banjarmasin 150 kV	2,5	80	0,8	64
6	Balikpapan 150 kV	1,2	60	0,6	36
7	Samarinda 150 kV	1,2	60	0,6	36
8	Bontang 150 kV	1,6	75	0,6	45
9	Tanjung Redep 150 kV	2,4	75	0,6	45

4.5 Analisis Gangguan Backbone 275 KV Kalimantan

Untuk menguji hasil *setting* yang ditentukan sudah tepat, maka dilakukan analisis gangguan pada saluran *backbone* 275 kV Kalimantan dan gardu induk penghubungnya. Gangguan yang digunakan untuk menguji *setting* proteksi penghantar yaitu gangguan 3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa ke tanah pada 90% saluran. Sedangkan gangguan yang digunakan untuk menguji *setting* proteksi bus diferensial adalah gangguan internal 2 fasa dan gangguan internal 3 fasa. Analisis gangguan untuk proteksi penghantar dilakukan pada saluran Pontianak – Ketapang dan Ketapang – Sampit. Sedangkan untuk bus diferensial dilakukan analisis pada bus Ketapang 150 kV dan Palangkaraya 150 kV.

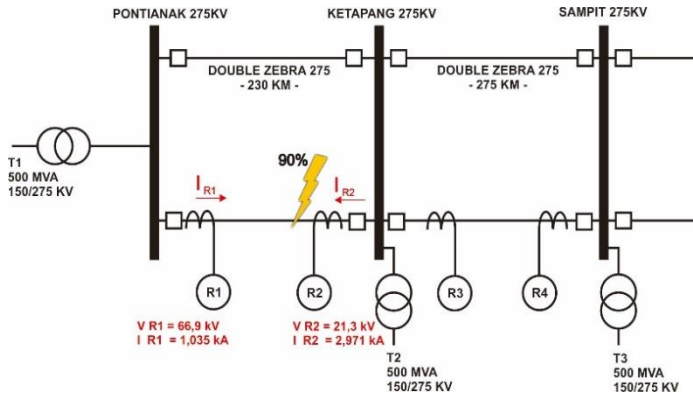
4.5.1 Analisis Gangguan Saluran Backbone 275 KV Kalimantan

Pada subbab ini akan dibahas mengenai analisis gangguan pada 90% panjang saluran Pontianak-Ketapang dan Ketapang-Sampit. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan bahwa hubung singkat yang terjadi tepat pada saluran penghantar dan tidak pada bus atau peralatan-peralatan pada gardu induk. Analisis ini dilakukan dengan cara perhitungan impedansi yang terukur rele (*apparance impedance*) dan membandingkannya dengan *setting* yang telah ditentukan. Gangguan hubung singkat yang digunakan adalah hubung singkat 3 fasa, hubung singkat 2 fasa dan hubung singkat 1 fasa ke tanah.

1. Analisis Gangguan pada 90% panjang saluran Pontianak – Ketapang

Hubung Singkat 3 Fasa

Pada saat kondisi hubung singkat 3 fasa di 90% panjang saluran, akan muncul arus kontribusi dari PONTIANAK 275 KV dan KETAPANG 275 KV yang dimisalkan I_{R1} dan I_{R2} . Dengan adanya gangguan 3 fasa di 90% saluran, tegangan yang terukur pada rele akan mengalami drop dan arus yang terukur akan mengalami kenaikan yang cukup besar. Nilai arus hubung singkat 3 fasa 30 *cycle* dan besar tegangan yang terukur pada rele dimodelkan pada Gambar 4.13:



Gambar 4. 13 Pemodelan hubung singkat 3 fasa pada 90% panjang saluran Pontianak - Ketapang

- Rele 1

$$\begin{aligned} \text{Reach} &= \frac{V_{R1}}{I_{R1}} \times (\text{CT/PT}) \\ &= \frac{66,9}{1,035} \times (0,104) \\ &= \mathbf{6,72 \, \Omega} \end{aligned}$$
- Rele 2

$$\begin{aligned} \text{Reach} &= \frac{V_{R2}}{I_{R2}} \times (\text{CT/PT}) \\ &= \frac{21,3}{2,971} \times (0,104) \\ &= \mathbf{0,74 \, \Omega} \end{aligned}$$

Dengan melihat nilai reach tersebut, dapat diketahui bahwa ketika hubung singkat 3 fasa pada 90% panjang saluran, impedansi yang terukur rele 1 adalah sebesar **6,72 Ω** dan rele 2 sebesar **0,74 Ω** .

Merujuk pada perhitungan *setting* yang telah dilakukan sebelumnya, *Setting* reach untuk rele 1 dan rele 2 dirincikan sebagai berikut.

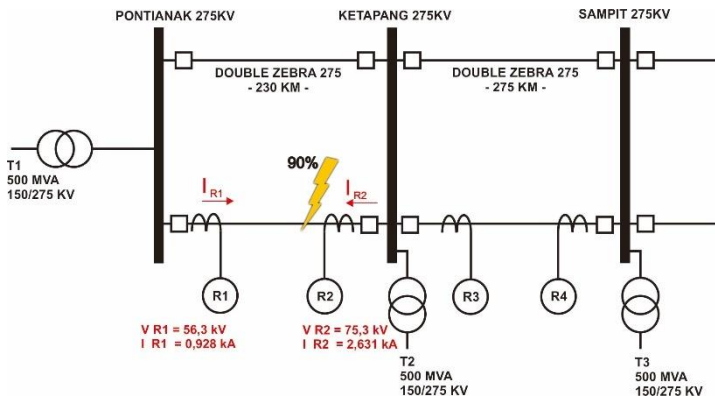
Zona 1 : **5,97 Ω**
 Zona 2 : **8,97 Ω**

Zona 3 : **13,5 Ω**
 DEF *pickup* : **390 A**
 Teleproteksi : **PUTT**

Jika nilai reach saat gangguan dan *setting* dibandingkan, dapat dianalisis bahwa rele 1 akan merasakan gangguan pada zona 2 dan rele 2 merasakan pada gangguan zona 1 nya. Dengan menggunakan skema PUTT, rele 1 dan rele 2 akan mengkonfirmasi adanya gangguan pada zona yang diamankannya sehingga CB pada kedua ujung saluran akan trip dengan waktu seketika.

Hubung Singkat 2 Fasa

Pada saat kondisi hubung singkat 2 fasa di 90% panjang saluran, akan muncul arus kontribusi dari PONTIANAK 275 KV dan KETAPANG 275 KV yang dimisalkan IR1 dan IR2. Dengan adanya gangguan 2 fasa di 90% saluran, tegangan yang terukur pada rele akan mengalami drop dan arus yang terukur akan mengalami kenaikan yang cukup besar. Nilai arus hubung singkat 2 fasa 30 *cycle* dan besar tegangan yang terukur pada rele dimodelkan pada Gambar 4.14:



Gambar 4. 14 Pemodelan hubung singkat 2 fasa pada 90 % panjang saluran Pontianak - Ketapang

- Rele 1

$$\begin{aligned}\text{Reach} &= \frac{V_{R1}}{I_{R1}} \times (\text{CT/PT}) \\ &= \frac{56,3}{0,928} \times (0,104) \\ &= \mathbf{6,3 \, \Omega}\end{aligned}$$
- Rele 2

$$\begin{aligned}\text{Reach} &= \frac{V_{R2}}{I_{R2}} \times (\text{CT/PT}) \\ &= \frac{75,3}{2,631} \times (0,104) \\ &= \mathbf{2,97 \, \Omega}\end{aligned}$$

Dengan melihat nilai reach tersebut, dapat diketahui bahwa ketika hubung singkat 2 fasa pada 90% panjang saluran, impedansi yang terukur rele 1 adalah sebesar **6,3 Ω** dan rele 2 sebesar **2,9 Ω** .

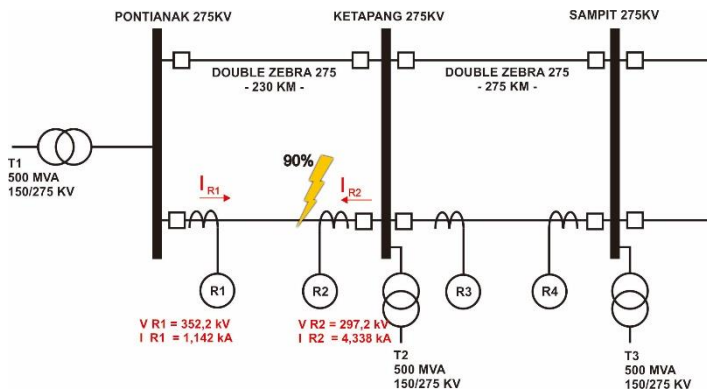
Merujuk pada perhitungan *setting* yang telah dilakukan sebelumnya, *Setting* reach untuk rele 1 dan rele 2 dirincikan sebagai berikut.

Zona 1	: 5,97 Ω
Zona 2	: 8,97 Ω
Zona 3	: 13,5 Ω
DEF <i>pickup</i>	: 390 A
Teleproteksi	: PUTT

Jika nilai reach saat gangguan dan *setting* dibandingkan, dapat dianalisis bahwa rele 1 akan merasakan gangguan pada zona 2 dan rele 2 merasakan pada gangguan zona 1 nya. Dengan menggunakan skema PUTT, rele 1 dan rele 2 akan mengkonfirmasi adanya gangguan pada zona yang diamankannya sehingga CB pada kedua ujung saluran akan trip dengan waktu seketika.

Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Pada saat kondisi hubung singkat 1 fasa di 90% panjang saluran, akan muncul arus kontribusi dari PONTIANAK 275 KV dan KETAPANG 275 KV yang dimisalkan I_{R1} dan I_{R2} . Dengan adanya gangguan 1 fasa di 90% saluran, tegangan yang terukur pada rele akan mengalami kenaikan karena pergeseran titik netral dan arus yang terukur akan mengalami kenaikan yang cukup besar. Nilai arus hubung singkat 1 fasa 30 *cycle* dan besar tegangan yang terukur pada rele dimodelkan pada Gambar 4.15



Gambar 4. 15 Pemodelan hubung singkat 1 fasa ke tanah pada 90 % panjang saluran Pontianak - Ketapang

- Rele 1

$$\text{Reach} = \frac{V_{R1}}{I_{R1}} \times (\text{CT/PT})$$

$$= \frac{352,2}{1,142} \times (0,104)$$

$$= 32,07 \, \Omega$$
- Rele 2

$$\text{Reach} = \frac{V_{R2}}{I_{R2}} \times (\text{CT/PT})$$

$$= \frac{297,2}{4,338} \times (0,104)$$

$$= \mathbf{68,5 \, \Omega}$$

Dengan melihat nilai reach tersebut, dapat diketahui bahwa ketika hubung singkat 2 fasa pada 90% panjang saluran, impedansi yang terukur rele 1 adalah sebesar **32,07 Ω** dan rele 2 sebesar **68,5 Ω** .

Merujuk pada perhitungan *setting* yang telah dilakukan sebelumnya, *Setting* reach untuk rele 1 dan rele 2 dirincikan sebagai berikut.

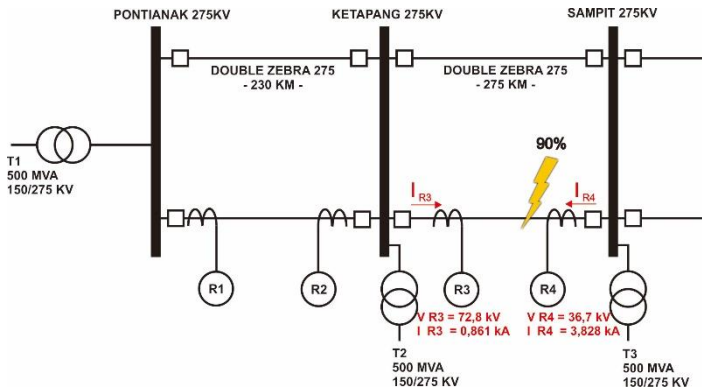
Zona 1	: 5,97 Ω
Zona 2	: 8,97 Ω
Zona 3	: 13,5 Ω
DEF <i>pickup</i>	: 390 A
Teleproteksi	: PUTT

Jika nilai reach saat gangguan dan *setting* dibandingkan, dapat dianalisis bahwa rele 1 dan rele 2 tidak merasakan gangguan pada zona proteksinya. Hal ini dikarenakan impedansi yang terukur pada kedua rele jauh melebihi *setting* reach yang telah ditentukan. Pada kondisi ini, rele DEF (*Directional Earth Fault*) akan bekerja mengamankan gangguan karena arus gangguan 1 fasa yang terukur melebihi *setting* pickupnya.

2. Analisis Gangguan pada 90% Ketapang – Sampit

Hubung Singkat 3 Fasa

Pada saat kondisi hubung singkat 3 fasa di 90% panjang saluran, akan muncul arus kontribusi dari KETAPANG 275 KV dan SAMPIT 275 KV yang dimisalkan I_{R3} dan I_{R4} . Dengan adanya gangguan 3 fasa di 90% saluran, tegangan yang terukur pada rele akan mengalami drop dan arus yang terukur akan mengalami kenaikan yang cukup besar. Nilai arus hubung singkat 3 fasa 30 *cycle* dan besar tegangan yang terukur pada rele dimodelkan pada Gambar 4.16:



Gambar 4. 16 Pemodelan hubung singkat 3 fasa pada 90 % panjang saluran Ketapang - Sampit

- Rele 3

$$\begin{aligned} \text{Reach} &= \frac{V_{R3}}{I_{R3}} \times (\text{CT/PT}) \\ &= \frac{72,8}{0,861} \times (0,104) \\ &= \mathbf{8,79 \, \Omega} \end{aligned}$$

- Rele 4

$$\begin{aligned} \text{Reach} &= \frac{V_{R4}}{I_{R4}} \times (\text{CT/PT}) \\ &= \frac{36,7}{3,828} \times (0,104) \\ &= \mathbf{0,99 \, \Omega} \end{aligned}$$

Dengan melihat nilai reach tersebut, dapat diketahui bahwa ketika hubung singkat 3 fasa pada 90% panjang saluran, impedansi yang terukur rele 3 adalah sebesar **8,79 Ω** dan rele 4 sebesar **0,99 Ω** .

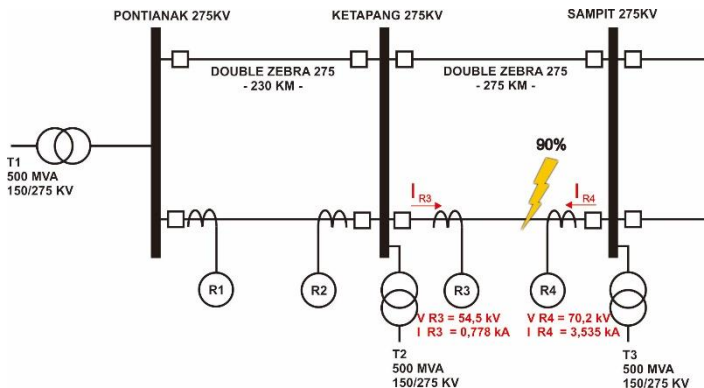
Merujuk pada perhitungan *setting* yang telah dilakukan sebelumnya, *Setting* reach untuk rele 3 dan rele 4 dirincikan sebagai berikut.

Zona 1 : **7,45 Ω**
 Zona 2 : **11,19 Ω**
 Zona 3 : **13,61 Ω**
 DEF pickup : **312 A**
 Teleproteksi : **PUTT**

Jika nilai reach saat gangguan dan *setting* dibandingkan, dapat dianalisis bahwa rele 3 akan merasakan gangguan pada zona 2 dan rele 4 merasakan pada gangguan zona 1 nya. Dengan menggunakan skema PUTT, rele 3 dan rele 4 akan mengkonfirmasi adanya gangguan pada zona yang diamankannya sehingga CB pada kedua ujung saluran akan trip dengan waktu seketika.

Hubung Singkat 2 Fasa

Pada saat kondisi hubung singkat 2 fasa di 90% panjang saluran, akan muncul arus kontribusi dari KETAPANG 275 KV dan SAMPIT 275 KV yang disimbolkan I_{R3} dan I_{R4} . Dengan adanya gangguan 2 fasa di 90% saluran, tegangan yang terukur pada rele akan mengalami drop dan arus yang terukur akan mengalami kenaikan yang cukup besar. Nilai arus hubung singkat 2 fasa 30 *cycle* dan besar tegangan yang terukur pada rele dimodelkan pada Gambar 4.17:



Gambar 4. 17 Pemodelan hubung singkat 2 fasa pada 90 % panjang saluran Ketapang - Sampit

- Rele 3

$$\begin{aligned} \text{Reach} &= \frac{V_{R3}}{I_{R3}} \times (\text{CT/PT}) \\ &= \frac{54,5}{0,778} \times (0,104) \\ &= \mathbf{7,78 \, \Omega} \end{aligned}$$
- Rele 4

$$\begin{aligned} \text{Reach} &= \frac{V_{R4}}{I_{R4}} \times (\text{CT/PT}) \\ &= \frac{70,2}{3,535} \times (0,104) \\ &= \mathbf{2,06 \, \Omega} \end{aligned}$$

Dengan melihat nilai reach tersebut, dapat diketahui bahwa ketika hubung singkat 3 fasa pada 90% panjang saluran, impedansi yang terukur rele 3 adalah sebesar **7,78 Ω** dan rele 4 sebesar **2,06 Ω** .

Merujuk pada perhitungan *setting* yang telah dilakukan sebelumnya, *Setting* reach untuk rele 3 dan rele 4 dirincikan sebagai berikut.

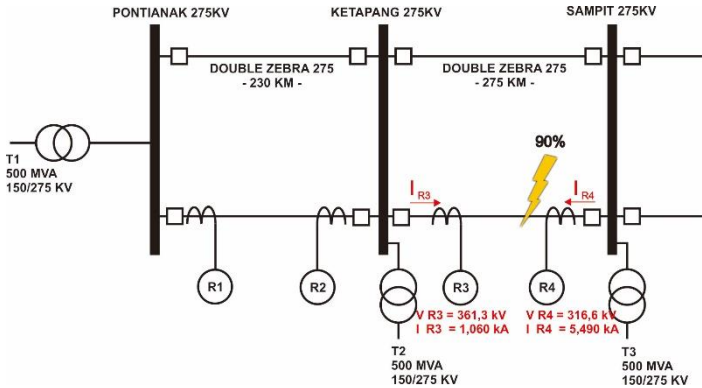
Zona 1	: 7,45 Ω
Zona 2	: 11,19 Ω
Zona 3	: 13,61 Ω
DEF <i>pickup</i>	: 312 A
Teleproteksi	: PUTT

Jika nilai reach saat gangguan dan *setting* dibandingkan, dapat dianalisis bahwa rele 3 akan merasakan gangguan pada zona 2 dan rele 4 merasakan pada gangguan zona 1 nya. Dengan menggunakan skema PUTT, rele 3 dan rele 4 akan mengkonfirmasi adanya gangguan pada zona yang diamankannya sehingga CB pada kedua ujung saluran akan trip dengan waktu seketika.

Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Pada saat kondisi hubung singkat 1 fasa di 90% panjang saluran, akan muncul arus kontribusi dari KETAPANG 275 KV dan SAMPIT 275 KV yang dimisalkan I_{R3} dan I_{R4} . Dengan adanya gangguan 1 fasa di 90% saluran, tegangan yang terukur pada rele akan mengalami kenaikan

karena pergeseran titik netral dan arus yang terukur akan mengalami kenaikan yang cukup besar. Nilai arus hubung singkat 1 fasa 30 cycle dan besar tegangan yang terukur pada rele dimodelkan pada Gambar 4.18:



Gambar 4. 148 Pemodelan hubung singkat 1 fasa ke tanah pada 90 % panjang saluran Ketapang - Sampit

- Rele 3

$$\begin{aligned} \text{Reach} &= \frac{V_{R3}}{I_{R3}} \times (\text{CT/PT}) \\ &= \frac{361,3}{1,060} \times (0,104) \\ &= \mathbf{35,44 \, \Omega} \end{aligned}$$

- Rele 4

$$\begin{aligned} \text{Reach} &= \frac{V_{R4}}{I_{R4}} \times (\text{CT/PT}) \\ &= \frac{316,6}{5,490} \times (0,104) \\ &= \mathbf{57,66 \, \Omega} \end{aligned}$$

Dengan melihat nilai reach tersebut, dapat diketahui bahwa ketika hubung singkat 1 fasa pada 90% panjang saluran, impedansi yang terukur rele 3 adalah sebesar **35,44 Ω** dan rele 4 sebesar **57,66 Ω** .

Merujuk pada perhitungan *setting* yang telah dilakukan sebelumnya, *Setting reach* untuk rele 3 dan rele 4 dirincikan sebagai berikut.

Zona 1	: 7,45 Ω
Zona 2	: 11,19 Ω
Zona 3	: 13,61 Ω
DEF <i>pickup</i>	: 312 A
Teleproteksi	: PUTT

Jika nilai reach saat gangguan dan *setting* dibandingkan, dapat dianalisis bahwa rele 3 dan rele 4 tidak merasakan gangguan pada zona proteksinya. Hal ini dikarenakan impedansi yang terukur pada kedua rele jauh melebihi *setting reach* yang telah ditentukan. Pada kondisi ini, rele DEF (*Directional Earth Fault*) akan bekerja mengamankan gangguan karena arus gangguan 1 fasa yang terukur melebihi *setting pickup*nya.

4.5.2 Analisis Gangguan pada GI penghubung Backbone 275 KV

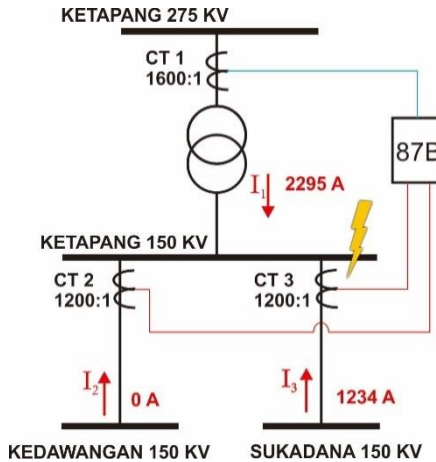
Kalimantan

Pada subbab ini akan dibahas mengenai analisis gangguan pada GI penghubung *backbone* 275 kV Kalimantan. Analisis ini dilakukan dengan cara perhitungan Idiff dan slope saat terjadi gangguan 3 fasa dan 2 fasa pada daerah pengamanan rele kemudian membandingkannya dengan *setting* yang telah ditentukan.

1. Analisis Gangguan Internal pada Ketapang 150 kV

Gangguan Internal 2 Fasa di KETAPANG 150 KV

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di area KETAPANG 150 KV, maka seluruh arus akan menuju pada titik gangguan. Pada kondisi ini, aliran arah arus yang mengalir akan dapat ditulis $I_1 = -I_2 - I_3$. Nilai arus hubung singkat 2 fasa $\frac{1}{2}$ cycle pada bus KETAPANG 150 KV dan pemodelan rele diferensial pada kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 4.19:

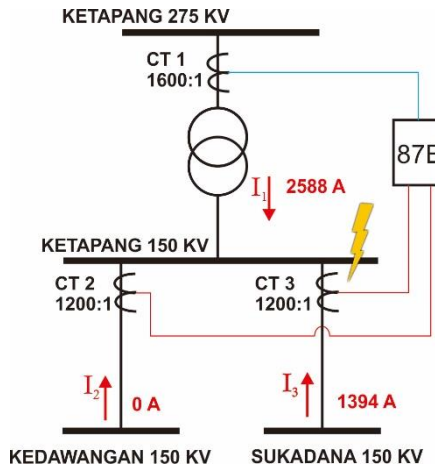


Gambar 4. 19 Pemodelan 87B pada saat gangguan internal 2 fasa

$$\begin{aligned}
 I_1 &= -I_2 - I_3 \\
 \frac{2295}{1600/1} &= \left(\frac{0}{1200/1} - \frac{1234}{1200/1} \right) \\
 1,434 &\neq -1,028 \text{ A} \\
 I_{\text{Restrained}} &= (|I_1| + |I_2| + |I_3|) \\
 &= 2,462 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_1 - (I_2 - I_3)| \\
 &= |1,434 - (-1,028)| \\
 &= \mathbf{2,462 \text{ A}} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{diff}}}{I_{\text{Restrained}}} \times 100\% \\
 &= \frac{2,462}{2,462} \times 100\% \\
 &= \mathbf{100\%}
 \end{aligned}$$

Gangguan Internal 3 Fasa di KETAPANG 150 KV

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di area KETAPANG 150 KV, maka seluruh arus akan menuju pada titik gangguan. Pada kondisi ini, aliran arah arus yang mengalir akan dapat ditulis $I_1 = -I_2 - I_3$. Nilai arus hubung singkat 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle pada bus KETAPANG 150 KV dan pemodelan rele diferensial pada kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 4.20:



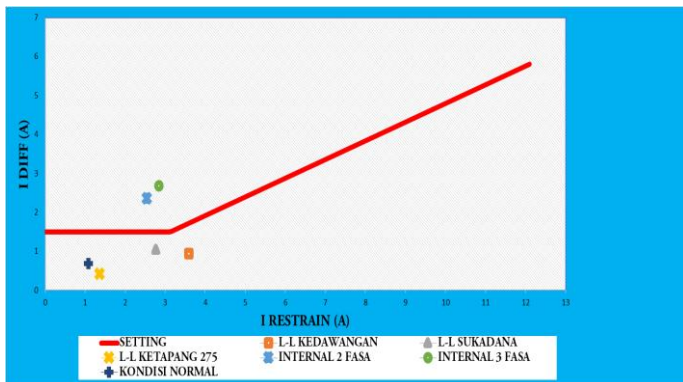
Gambar 4. 20 Pemodelan 87B pada saat gangguan internal 3 fasa

$$\begin{aligned}
 I_1 &= -I_2 - I_3 \\
 \frac{2588}{1600/1} &= \left(\frac{0}{1200/1} - \frac{1394}{1200/1} \right) \\
 1,617 &\neq -1,161 \text{ A} \\
 I_{\text{Restrained}} &= (|I_1| + |I_2| + |I_3|) \\
 &= 2,779 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_1 - (I_2 - I_3)| \\
 &= |1,617 - (-1,161)|
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2,779 \text{ A} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{diff}}{I_{Restraint}} \times 100\% \\
 &= \frac{2,779}{2,779} \times 100\% \\
 &= 100\%
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan nilai-nilai yang telah dihitung maka dapat dianalisis ketika terjadi gangguan internal 2 fasa, nilai I_{diff} yang terukur adalah sebesar **2,462 A** dan slope sebesar **100%**. Sedangkan ketika terjadi gangguan 3 fasa, I_{diff} yang terukur adalah sebesar **2,779 A** dan slope sebesar **100%**. Dapat dilihat bahwa kedua nilai tersebut jauh lebih besar dibandingkan dengan nilai *setting* yang telah ditentukan yaitu **1,5 A** dan slope sebesar **48%**. Pada kondisi ini, rele diferensial akan bekerja memberi perintah tripping CB dalam waktu 0,02s (*range ½ - 4 cycle*) karena I_{diff} dan slope yang terukur melampaui batas *setting*nya.

Gambar 4.21 menunjukkan kurva karakteristik rele diferensial beserta simulasi gangguan di dalam maupun diluar daerah pengamanan untuk I_{diff} *pick up* sebesar 1,5 A dan slope 48%.



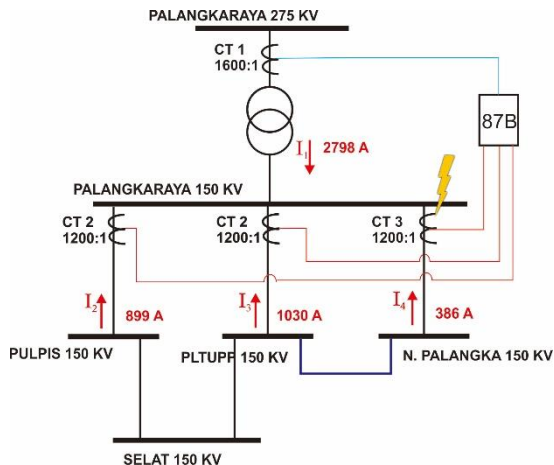
Gambar 4. 21 Kurva Karakteristik *Setting* Diferensial pada bus Ketapang 150kV

Daerah diatas kurva merupakan daerah operasi rele. Rele diferensial akan bekerja apabila gangguan yang terjadi berada diatas kurva karakteristik rele. Berdasarkan gambar 4.21 dapat dilihat ketika terjadi gangguan internal baik 3 fasa maupun 2 fasa, keduanya berada diatas kurva karakteristik rele yang di *setting* sehingga rele diferensial bekerja. Sedangkan saat gangguan diluar zona pengamanan rele, maka rele diferensial tidak akan bekerja. Hal ini menunjukan bahwa pemilihan pickup Idiff sebesar **1,5 A** dan slope sebesar **48 %** merupakan *setting* yang tepat.

2. Analisis Gangguan Internal pada Palangkaraya 150 KV

Gangguan Internal 2 Fasa di PALANGKARAYA 150 KV

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di area PALANGKARAYA 150 KV, maka seluruh arus akan menuju pada titik gangguan. Pada kondisi ini, aliran arah arus yang mengalir akan dapat ditulis $I_1 = -I_2 - I_3 - I_4$. Nilai arus hubung singkat 2 fasa $\frac{1}{2}$ cycle pada pada bus PALANGKARAYA 150 KV dan pemodelan rele diferensial pada kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 4.22:



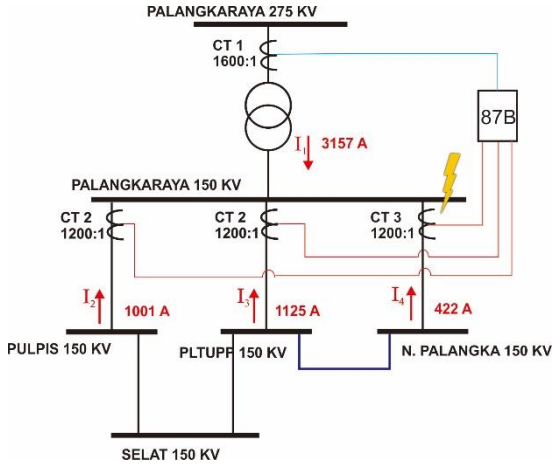
Gambar 4. 22 Pemodelan 87B pada saat gangguan internal 2 fasa

$$I_1 = -I_2 - I_3 - I_4$$

$$\begin{aligned}
\frac{2798}{1600/1} &= \left(-\frac{899}{1200/1} - \frac{1030}{1200/1} - \frac{386}{1200/1} \right) \\
1,787 &\neq -1,929 \text{ A} \\
I_{\text{Restrained}} &= (|I_1| + |I_2| + |I_3| + |I_4|) \\
&= 3,677 \text{ A} \\
I_{\text{Diff}} &= |I_1 - (I_2 - I_3 - I_4)| \\
&= |1,787 - (-1,929)| \\
&= \mathbf{3,677 \text{ A}} \\
\text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{diff}}}{I_{\text{Restrained}}} \times 100\% \\
&= \frac{3,677}{3,677} \times 100\% \\
&= \mathbf{100\%}
\end{aligned}$$

Gangguan Internal 3 Fasa di PALANGKARAYA 150 KV

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di area PALANGKARAYA 150 KV, maka seluruh arus akan menuju pada titik gangguan. Pada kondisi ini, aliran arah arus yang mengalir akan dapat ditulis $I_1 = -I_2 - I_3 - I_4$. Nilai arus hubung singkat 2 fasa $\frac{1}{2}$ cycle pada bus PALANGKARAYA 150 KV dan pemodelan rele diferensial pada kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 4.23



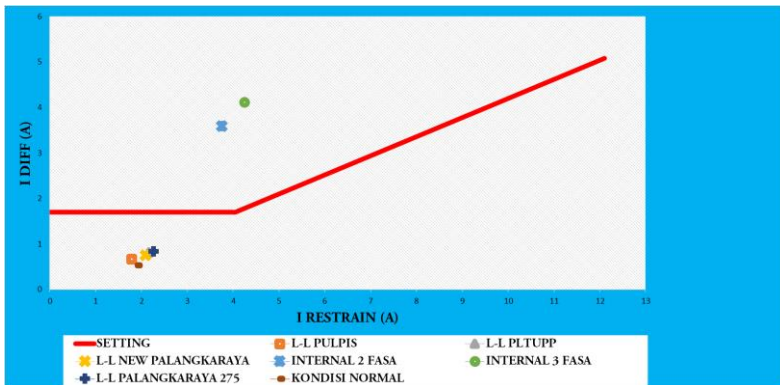
Gambar 4. 23 Pemodelan 87B pada saat gangguan internal 3 fase

$$\begin{aligned}
 I_1 &= -I_2 - I_3 - I_4 \\
 \frac{3157}{1600/1} &= \left(-\frac{1001}{1200/1} - \frac{1125}{1200/1} - \frac{422}{1200/1} \right) \\
 1,973 &\neq -2,202 \text{ A} \\
 I_{\text{Restrained}} &= (|I_1| + |I_2| + |I_3| + |I_4|) \\
 &= 4,180 \text{ A} \\
 I_{\text{Diff}} &= |I_1 - (I_2 - I_3 - I_4)| \\
 &= |1,973 - (-2,202)| \\
 &= \mathbf{4,180 \text{ A}} \\
 \text{Slope (\%)} &= \frac{I_{\text{diff}}}{I_{\text{Restrained}}} \times 100\% \\
 &= \frac{4,180}{4,180} \times 100\% \\
 &= \mathbf{100\%}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan nilai-nilai yang telah dihitung maka dapat dianalisis ketika terjadi gangguan internal 2 fasa, nilai Idiff yang terukur

adalah sebesar **3,677 A** dan slope sebesar **100%**. Sedangkan ketika terjadi gangguan 3 fasa, Idiff yang terukur adalah sebesar **4,180 A** dan slope sebesar **100%**. Dapat dilihat bahwa kedua nilai tersebut jauh lebih besar dibandingkan dengan nilai *setting* yang telah ditentukan yaitu **1,7 A** dan slope sebesar **42%**. Pada kondisi ini, rele diferensial akan bekerja memberi perintah tripping CB dalam waktu 0,02s (range $\frac{1}{2}$ - 4 cycle) karena Idiff dan slope yang terukur melampaui batas *setting*nya.

Gambar 4.24 menunjukkan kurva karakteristik rele diferensial beserta simulasi gangguan di dalam maupun diluar daerah pengamanan untuk Idiff *pick up* sebesar 1,7 A dan slope 42%.



Gambar 4. 24 Kurva Karakteristik *Setting* Diferensial pada bus Palangkaraya 150kV

Daerah diatas kurva merupakan daerah operasi rele. Rele diferensial akan bekerja apabila gangguan yang terjadi berada diatas kurva karakteristik rele. Berdasarkan gambar 4.24 dapat dilihat ketika terjadi gangguan internal baik 3 fasa maupun 2 fasa, keduanya berada diatas kurva karakteristik rele yang di *setting* sehingga rele diferensial bekerja. Sedangkan saat gangguan diluar zona pengamanan rele, maka rele diferensial tidak akan bekerja. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan pickup Idiff sebesar **1,7 A** dan slope sebesar **42 %** merupakan *setting* yang tepat.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan studi mengenai analisis hubung singkat dan *setting* proteksi yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Pemilihan pola proteksi penghantar 275 kV teleproteksi Z + DEF menurut **(TET) SPLN T5.002-2:2010** sudah sesuai karena selektif dan cepat dalam mengamankan gangguan.
2. Penggunaan rele jarak dengan skema teleproteksi berfungsi sebagai pengaman utama pada penghantar *backbone* 275 kV Kalimantan karena sudah cukup selektif dan cepat dalam mengamankan gangguan.
3. Perhitungan *setting* proteksi pada rele jarak sudah sesuai karena selektif dalam mengamankan gangguan pada zona proteksinya yaitu Zona 1 Zona 2 dan Zona 3.
4. Penggunaan rele diferensial pada gardu induk penghubung *backbone* 275 kV sudah cukup selektif dan cepat dalam mengamankan gangguan pada zona pengamananya.
5. Pemilihan *setting* pickup yaitu Idiff dan Slope pada rele diferensial sudah tepat karena selektif dalam mengamankan gangguan di dalam zona pengamananya.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah diperoleh, saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya dirincikan sebagai berikut:

1. Rekomendasi *setting* rele yang disarankan pada tugas akhir ini dapat dijadikan pertimbangan dan referensi untuk melakukan *setting* proteksi pada *backbone* 275 kV Kalimantan
2. Dilakukan pembahasan lebih lanjut mengenai proteksi pada gardu induk penghubung *backbone* 275kV dan peralatan proteksinya.
3. Dilakukan pembahasan lebih lanjut untuk kestabilan sistem *backbone* 275 kV ketika sistem proteksi bekerja.

Halaman ini sengaja dikosongkan

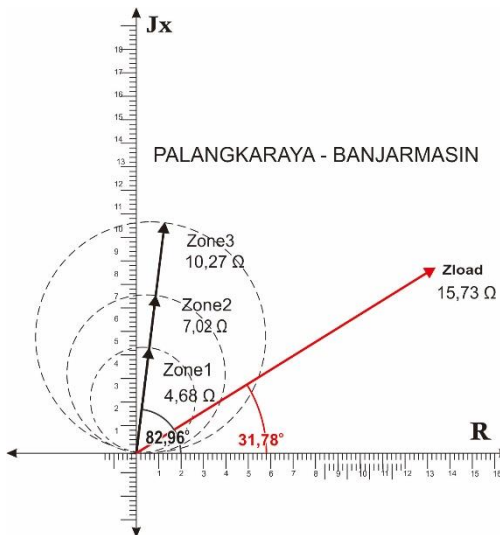
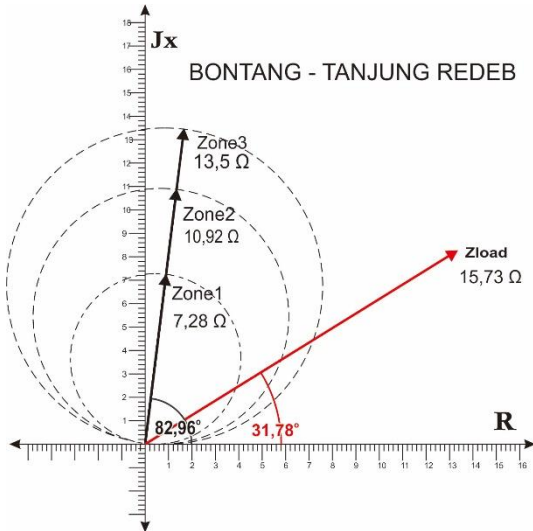
DAFTAR PUSTAKA

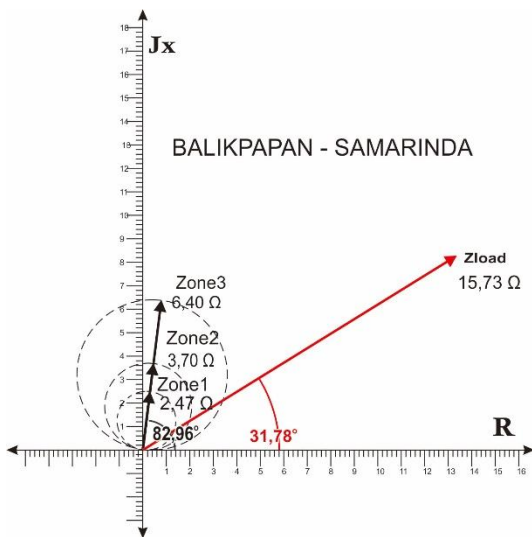
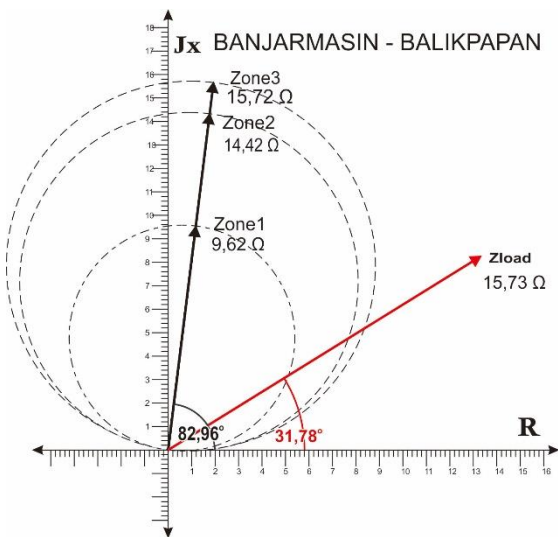
- [1] P. PLN. (Persero), “Rancangan Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2017 - 2026,” 2017.
- [2] W. Carpenter, *IEEE Guide for Protective Relé Applications to Transmission Lines*, vol. 1999, no. February 2000. 1999.
- [3] Cahier Technique No. 158, “*Calculation of Short-circuit Currents*”, Schneider Electric, 2005.
- [4] IEEE Std 242-2001™, “*IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, Ch. 15, 2001.
- [5] Rizkaurum Fadliyah, “Evaluasi Kegagalan *Setting Relé* Diferensial pada Bus 18 kv di Sistem Kelistrikan PLTU UP PAITON UNIT 1,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [6] M. J. Thompson, A. Somani, and S. E. Laboratories, “*A Tutorial on Calculating Source Impedance Ratios for Determining Line Length*,” pp. 833–841, 2015.
- [7] IEEE Std C37.234, *Guide for Protective Relé Applications to Power System Buses*. New York, 2009.
- [8] P. Alexander, J. Apple, A. Elneweihi, R. Haas, and G. W. Swift, *Power System Protection*. 2006.
- [9] K. Behrendt, D. Costello, and S. E. Zocholl, “*Considerations for using high-impedance or low-impedance relés for bus differential protection*,” *2010 63rd Annu. Conf. Prot. Relé Eng.*, 2010.
- [10] J. Holbach, “*Comparison between high impedance and low impedance bus differential protection Comparison between high impedance and low impedance bus differential protection Abstract*,” pp. 1–16, 2009.
- [11] SIEMENS, “*Centralized Numerical Busbar Protection 7SS60*.”
- [12] GE Industrial Systems, “*D60 Line Distance Relé - UR Series Instruction Manual*,” p. 460, 2009.

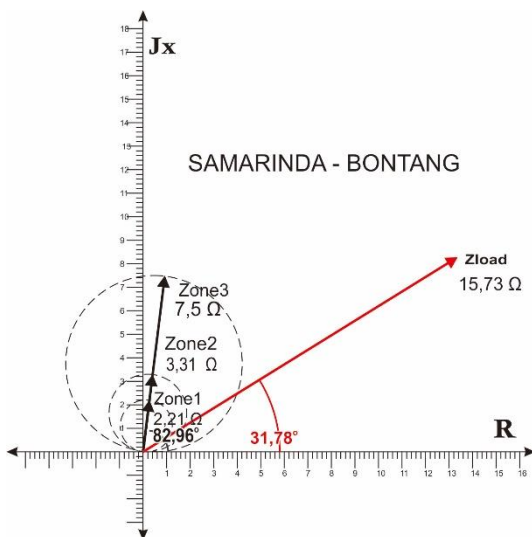
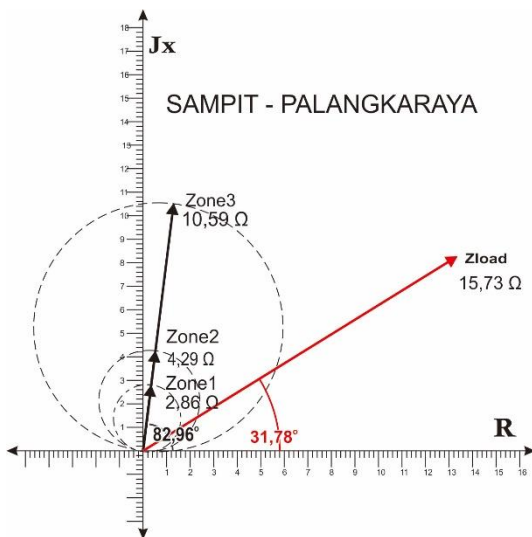
- [13] P. PLN. (Persero), “Buku Pedoman Proteksi dan Kontrol Penghantar,” pp. 27–28, 2012.
- [14] P. PLN. (Persero), "Buku Pedoman Proteksi dan Kontrol Busbar". 2010.
- [15] H. Haskarya, M. Pujiantara, dan A. Musthofa, “Koordinasi Proteksi Saluran Udara Tegangan Tinggi pada Gardu Induk Mliwang–Tuban Akibat Penambahan Penghantar Pltu Tanjung Awar-Awar,” *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, hal. B431–B436, 2017

LAMPIRAN

1. SETTING MHO

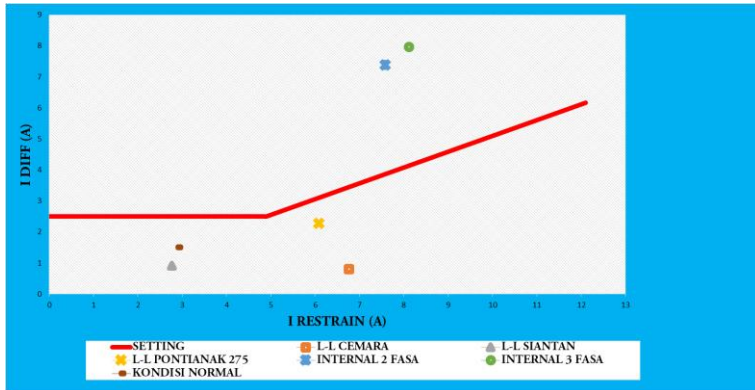




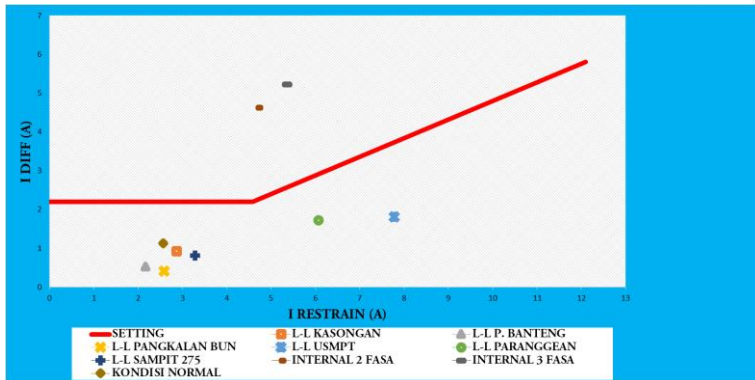


2. SETTING DIFFERENSIAL

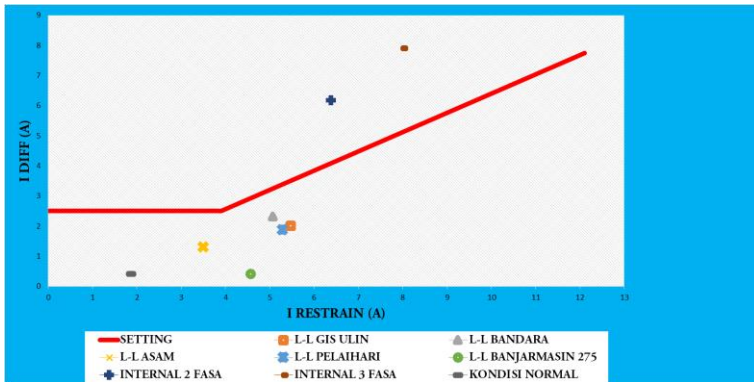
-PONTIANAK 150 KV



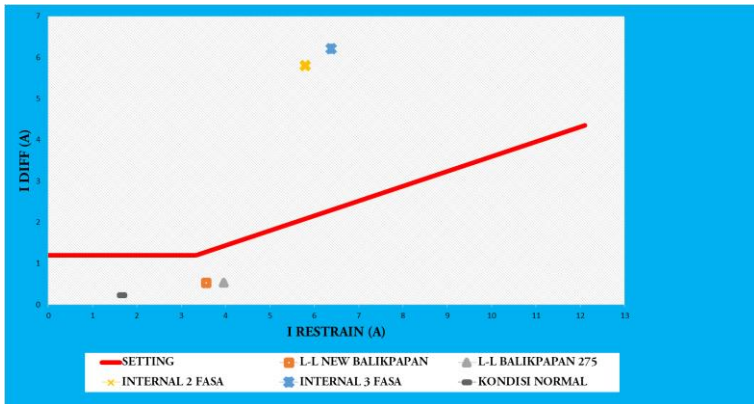
-SAMPIT 150 KV



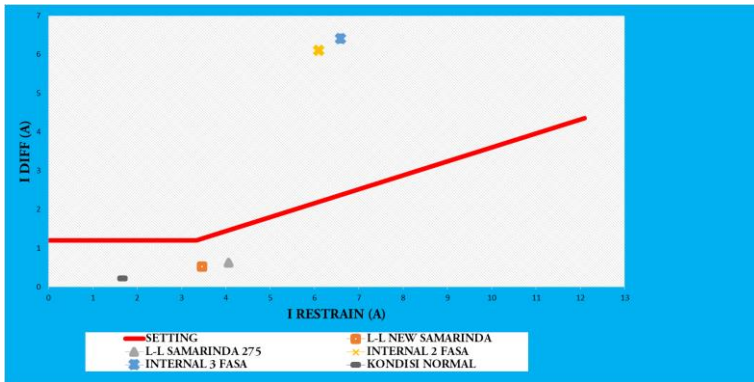
-BANJARMASIN 150 KV



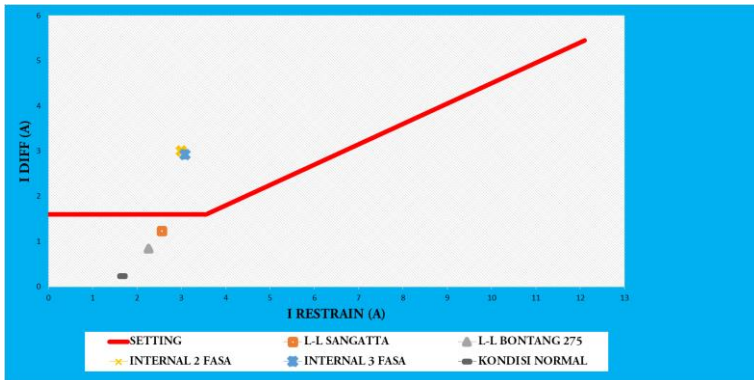
-BALIKPAPAN 150 KV



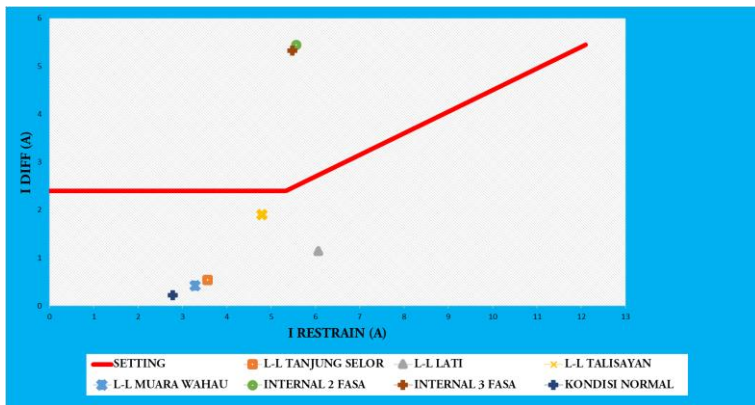
-SAMARINDA 150 KV



-BONTANG 150 KV



-TANJUNG REDEB 150 KV



Halaman ini sengaja dikosongkan

BIOGRAFI PENULIS



Ratnandy Hilal Pahlevi, dilahirkan di Malang pada tanggal 4 November 1996. Merupakan anak kedua dari 3 bersaudara pasangan Ikhnar Hajar Prayudi dan Ratna Wati. Penulis ini memulai jenjang pendidikan di TK Hidayatullah pada tahun 2001-2003, SDN Sawojajar 1 pada tahun 2003-2009, SMP Negeri 3 Malang pada tahun 2009-2011, dan SMA Negeri 3 Malang pada tahun 2011-2014. Pada tahun 2014 penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di kota Surabaya tepatnya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Fakultas Teknologi Elektro, Departemen Teknik Elektro bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Selama kuliah, penulis aktif dalam kegiatan mengajar pada salah satu lembaga bimbingan belajar untuk anak SMP. Selain itu, penulis juga berpartisipasi dalam berbagai kepanitiaan kerohanian seperti kajian islam dan mentoring. Pada semester VI penulis melakukan kerja praktek di Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore (PHE WMO) , Gresik. Penulis dapat dihubungi melalui email Ratnandyhilalp@yahoo.co.id